

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ÁREA DE INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN



ANÁLISIS DE COSTES DE NO CALIDAD Y  
DEFECTOLOGÍA EN UNA EMPRESA DEL SECTOR  
AERONÁUTICO

Autor: ROBERTO GARCÍA SERRANO

Tutor: FRANCISCO RIVERA RIQUELME

OCTUBRE 2011



## Agradecimientos

*A mi familia y amigos ya que sin su apoyo jamás habría llegado hasta aquí.*

*A mi tutor Francisco por su paciencia y su ayuda.*

*A la universidad Carlos III de Madrid por la formación que me ha dado.*



---

## TABLA DE CONTENIDO

Índice de figuras .....	6
Índice de tablas.....	8
1    Introducción .....	9
1.1    Origen del proyecto y antecedentes .....	9
1.2    Objetivo del proyecto .....	10
1.3    Desarrollo del proyecto .....	10
1.4    Cronología.....	11
2    Conceptos teóricos .....	13
2.1    Definición de coste de Calidad y categorías .....	13
2.1.1    Costes de calidad .....	13
2.1.2    Costes de no calidad .....	14
2.2    No conformidad .....	15
2.3    Técnicas utilizadas en los grupos de mejora .....	16
2.3.1    Brainstorming .....	17
2.3.2    Cinco Por Qué .....	18
2.3.3    Método Ishikawa .....	20
2.3.4    Método de Kepner&Tregoe.....	28
3    Desarrollo del proyecto .....	35



---

3.1	Análisis de los costes de no calidad .....	35
3.1.1	Costes directos .....	35
3.1.2	Costes administrativos .....	36
3.2	Tratamiento de los defectos.....	39
3.3	Los grupos de mejora .....	44
3.3.1	Formación de los grupos de mejora.....	44
3.3.2	Las reuniones.....	44
3.3.3	Priorización de defectos. Master List .....	45
3.3.4	Análisis y solución de problemas.....	49
3.4	Evaluación y seguimiento de los resultados.....	49
3.5	Histórico de problemas encontrados .....	50
4	Aplicación práctica. El caso de AIRBUS Operaciones .....	52
4.1	Consideraciones iniciales.....	52
4.1.1	Introducción a la empresa .....	52
4.1.2	Singularidades a tener en cuenta .....	60
4.2	Estado inicial .....	61
4.3	Recogida de datos.....	66
4.4	Formación de los grupos y acciones tomadas.....	71
4.4.1	Cuadernas S19.1- Porosidades .....	75

---



4.4.2	Rotura de mangueras .....	83
4.4.3	Delaminaciones en radios de bordes de ataque (BAs).....	87
4.4.4	Delaminaciones en bordes de salida (BRs).....	94
4.5	Resultados posteriores .....	99
5	Conclusiones.....	102
6	Bibliografía.....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 DIAGRAMA DE GANTT .....	12
FIGURA 2 DIAGRAMA DE ISHIKAWA COMPLETO PARA UN PROCESO DE MECANIZADO.....	22
FIGURA 3 DIAGRAMA DE FLUJO PARA UNA NO CONFORMIDAD.....	37
FIGURA 4 GRÁFICO DE EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DE CALIDAD (FUENTE: PARTIDADOBLE.WKE.ES) .....	41
FIGURA 5 GRÁFICO DE EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DE CALIDAD (FUENTE: PARTIDADOBLE.WKE.ES) .....	42
FIGURA 8 FAMILIA A320 .....	54
FIGURA 9 AIRBUS A340-600 .....	55
FIGURA 10 AIRBUS A350 XWB .....	56
FIGURA 11 AIRBUS A380.....	57
FIGURA 12 AIRBUS BELUGA.....	58
FIGURA 13 COSTE DE NO CALIDAD POR ÁREA EN 2009 .....	62
FIGURA 14 COSTE DE NO CALIDAD POR ÁREA Y TIPO DE NO CONFORMIDAD EN 2009 .....	63
FIGURA 15 COSTES DE NO CALIDAD EN MATERIALES COPUESTOS POR DEFECTO EN 2009 .....	64
FIGURA 16 COSTES DE NO CALIDAD PARA LOS DEFECTOS MÁS IMPORTANTES 2009 .....	65
FIGURA 18 EJEMPLO DE UNA HNC DE UNA POROSIDAD EN UN CHAFLÁN DE UN BA .....	67
FIGURA 19 EMPLO HNC PARA UN PROBLEMA DE FIBRA DE VIDRIO .....	68
FIGURA 22 HOJA DE NO CONFORMIDAD TÍPICA PARA POROSIDADES EN LAS CUADERNAS DE LA S19.1 .....	76
FIGURA 23 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ PARA POROSIDADES EN LAS CUADERNAS DE LA SECCIÓN 19.1 .....	78
FIGURA 24 RELACIÓN DE ACCIONES TOMADAS PARA POROSIDADES DE CUADERNAS DE SECCIÓN 19.....	81
FIGURA 25 CARTEL RESUMEN PARA POROSIDADES DE LAS CUADERNAS DE LA SECCIÓN 19 .....	82
FIGURA 26 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ PARA ROTURA DE MANGUERAS.....	84
FIGURA 27 RELACIÓN DE ACCIONES TOMADAS PAR PROBLEMA DE ROTURA DE MANGUERAS.....	85
FIGURA 28 CARTEL RESUMEN ROTURA DE MANGUERAS .....	86
FIGURA 29 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ EN DELAMINACIONES EN RADIOS DE LOS BA .....	88
FIGURA 30 RELACIÓN DE ACCIONES TOMADAS EN DELAMINACIONES DE BA.....	92
FIGURA 31 CARTEL RESUMEN DELAMINACIONES EN BA .....	93
FIGURA 32 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ EN BR POR DELAMINACIONES.....	95
FIGURA 33 RELACIÓN DE ACCIONES TOMADAS PARA DELAMINACIONES EN LOS BR .....	97



FIGURA 34 CARTEL RESUMEN DELAMINACIONES EN BORDES DE SALIDA.....	98
FIGURA 35 COMPARATIVA DE COSTES 2009 Y 2010 .....	99
FIGURA 36 COMPARATIVA DE RESULTADOS DE LOS MESES DE ENERO Y FEBRERO DE 2009,2010 Y 2011 ....	100
FIGURA 37 COMPARATIVA DE COSTES 2009-2010 EN MATERIALES COMPUESTOS.....	103
FIGURA 38 COMPARATIVA COSTES ENERO Y FEBRERO 2010 Y 2011 POR DEFECTO .....	104



---

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 MASTER LIST PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS .....	47
TABLA 2 COEFICIENTES DE PONDERACIÓN MASTER LIST .....	48
TABLA 3 LISTA DE PROBLEMAS DETECTADOS .....	66
TABLA 4 ESTIMACIÓN DE LOS COSTES DE NO CALIDAD PARA LOS DEFECTOS DETECTADOS.....	70
TABLA 5 MASTER LIST DE DEFECTOS.....	73
TABLA 6 COSTES DE NO CALIDAD POR DEFECTO .....	101
TABLA 7 COSTES POR DEFECTO 2010 Y 2011 .....	104
TABLA 8 COSTES DE NO CALIDAD ENERO Y FEBERO 2010 Y 2011 .....	105
TABLA 9 AHORRO TOTAL DEL PRIMER AÑO.....	105



## 1 INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo se van a tratar las motivaciones que originaron el proyecto y el fundamento en el que se basan, los objetivos que se buscan conseguir con el proyecto, un breve resumen de las etapas y la cronología de cada una con una representación en diagrama de Gantt.

### 1.1 ORIGEN DEL PROYECTO Y ANTECEDENTES

Durante mi etapa en el departamento de Mejora Continua de Airbus Operaciones, la dirección de calidad detectó que se perdían gran cantidad de recursos en productos con mala calidad. Airbus centra gran parte de sus esfuerzos en seguir la filosofía Lean en la producción, la cual tiene como objetivo la reducción de diferentes tipos de desperdicios y uno de los principales desperdicios que pretende atacar la gestión basada en Lean son los defectos de la producción.

Para solucionar esta carencia decidió lanzar un proyecto para medir los costes de no calidad y posteriormente eliminar los problemas más significativos.

Este proyecto se lanzó simultáneamente en todas las plantas de Airbus Operaciones y se dividió en dos etapas: medición de costes y análisis de los problemas. Se formaron grupos de trabajo en cada planta, los cuales trabajamos de forma coordinada.

Los grupos de trabajo están compuestos por una persona de cada departamento implicado en la producción y liderados por calidad, que realiza las funciones de coordinación e instigación.

El documento se centra en el trabajo realizado en la planta de Getafe, ya que fue en esta en la que trabajé de forma directa en todas sus fases.

## 1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es analizar la defectología de la producción, evaluar su coste y reducirla en función de los costes que originan a la empresa.

Como objetivo inicial, se ha fijado la reducción de un 20% de los costes de no calidad durante el primer año. Debido a la estacionalidad de la fabricación, para este primer año se decidió que la reducción de costes del 20% fuese durante los meses de Enero y Febrero de 2011 con respecto al mismo periodo de 2010.

Estos objetivos se irán revisando anualmente para ajustarlos a la realidad lo mejor posible en el futuro.

## 1.3 DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto se desarrollo en dos etapas fundamentalmente: medición de costes y análisis de defectos.

Durante la etapa de medición de costes, todo el peso del proyecto recayó sobre el personal de calidad que, con soporte del departamento de informática, elaboró una serie de consultas en SAP destinadas a medir estos costes. En esta etapa simultáneamente se fue elaborando una serie de documentos de formación que se utilizaron para explicar a las personas implicadas en los grupos en qué consisten los costes de no calidad y las herramientas a utilizar en la siguiente fase.

En la fase de análisis participan personas de diferentes departamentos formando grupos de trabajo en las diferentes plantas. El objetivo de estos grupos es que todos los departamentos implicados en la fabricación sean partícipes y aporten sus conocimientos y puntos de vista para solucionar los defectos, evitando así que sea calidad el único área que se encargue de la resolución de problemas y se tomen

medidas erróneas para eliminarlos por el posible desconocimiento de los procesos de fabricación.

Por último, al final del documento se encuentran las conclusiones del proyecto y las reseñas bibliográficas más importantes que se han utilizado.

## 1.4 CRONOLOGÍA

El proyecto se comenzó en Diciembre de 2009, y al ser un proyecto de mejora continua, actualmente sigue en marcha. Para obtener los primeros resultados se puso como plazo el mes de Febrero de 2011, por lo que para los resultados de este documento, se ha congelado el estado en esta fecha.

Los cuatro primeros meses se dedicaron a desarrollar la metodología, crear las herramientas informáticas para la medición y análisis de los costes y la formación de las personas implicadas en el proyecto. Para esta formación fue necesario preparar la información y crear la documentación que posteriormente utilizó en esta etapa. En esta fase el trabajo fue realizado por un equipo de 5 personas, los responsables de calidad de cada planta y el coordinador, también personal de calidad.

Pasados estos cuatro meses, se empezó a trabajar en la resolución de los defectos utilizando las herramientas definidas previamente, creando los grupos de mejora y llevando a cabo el trabajo de campo propiamente dicho durante otros nueve meses, tras los cuales se realizó el primer análisis de los resultados. En esta etapa la forma de trabajar cambia con respecto a la anterior, los grupos son independientes de cada planta y están formados por un miembro de cada departamento implicado: ingeniería, calidad, producción, planificación, I+D... en función al tipo de defecto a resolver.

En el siguiente diagrama de Gantt se puede apreciar con más detalle todas las etapas del proyecto.

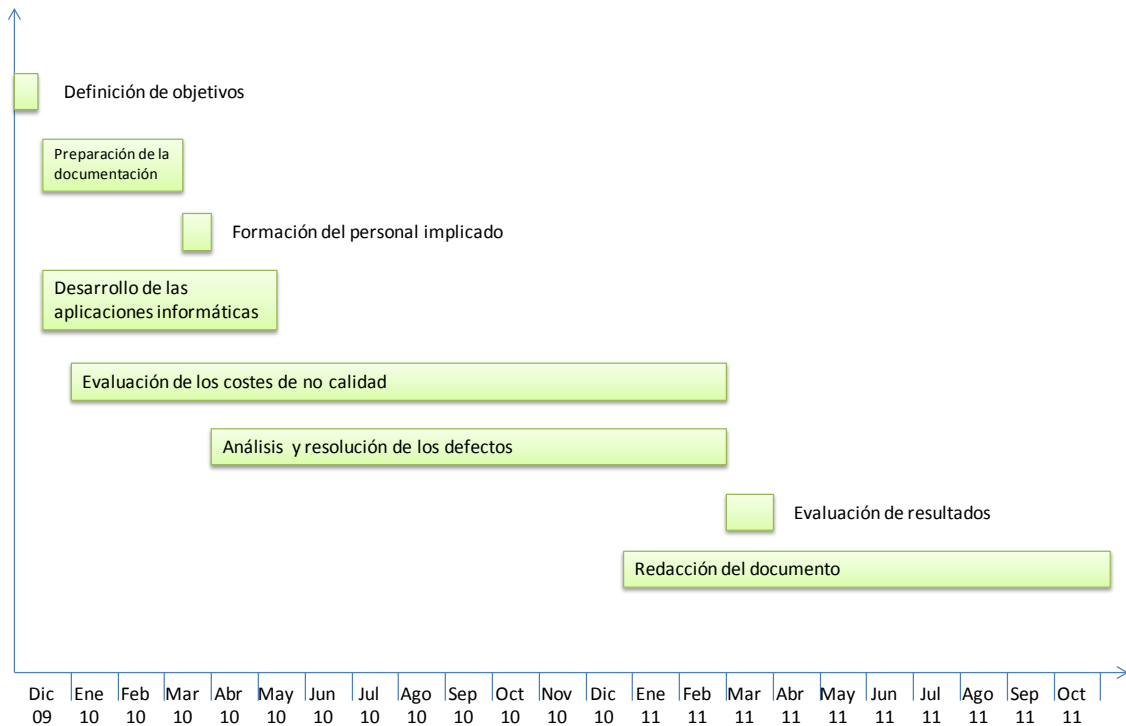


Figura 1 Diagrama de Gantt

## 2 CONCEPTOS TEÓRICOS

Una de las primeras etapas que se deben llevar a cabo es la formación de los operarios y personal indirecto relacionado. Por este motivo se ha elaborado material de formación en el que se trata de explicar forma sencilla los conocimientos necesarios para entender en qué consisten los costes de no calidad, su importancia y las herramientas que posteriormente se van a utilizar durante las distintas etapas de trabajo. A continuación se explican los conceptos fundamentales:

### 2.1 DEFINICIÓN DE COSTE DE CALIDAD Y CATEGORÍAS

Se denomina coste de la calidad lo que le cuesta a una organización desarrollar la función de la calidad, es decir, lo que gasta produciendo con calidad (evitando, previniendo o detectando los errores, inspeccionando los procesos, etc.), y también lo que cuestan los errores producidos.

El coste de la calidad se divide tradicionalmente en cuatro categorías: costes de calidad de prevención, costes de calidad de evaluación, costes de no calidad internos y costes de no calidad externos.

Cada una de estas categorías se subdivide a la vez en otros costes más detallados, denominados elementos del coste de la calidad.

Las definiciones de los elementos del coste deben hacerse de acuerdo con la organización.

#### 2.1.1 Costes de calidad

Son aquellos originados por la implantación y desarrollo de las actividades necesarias para alcanzar los objetivos de calidad. Expresan el esfuerzo económico necesario para

asegurar que el producto alcance el grado de idoneidad suficiente para su buen uso por el cliente, y comprende los costes de prevención y evaluación.

### *Costes de prevención*

Los costes de prevención se obtienen a partir de la suma del coste de todas las actividades que tienden específicamente a evitar una calidad deficiente de servicios. Es decir, son los que se producen cuando se intentan reducir o evitar los errores.

### *Costes de evaluación*

Los costes de evaluación están relacionados con la medición, evaluación o auditoría de servicios para asegurar que se adaptan a las normas de calidad y a los requisitos de comportamiento establecido. Es decir, son el total de gastos originados para intentar determinar si una actividad se ha realizado correctamente.

## **2.1.2 Costes de no calidad**

Son aquellos costes asociados a los fallos o errores en los productos (no conformidad) y que impiden que éstos cumplan con los requisitos especificados o acordados con los clientes.

Expresan las consecuencias económicas negativas que ocasionan los fallos en materia de calidad; están compuestos por la suma de los costes de fallos internos y externos.

### *Costes de errores internos*

Los costes de errores internos son los originados por los servicios que no se adaptan a los requisitos o a las necesidades del cliente cuando se detectan antes de la prestación del servicio. Ejemplos: costes de rechazo, reelaboración, reinspección, inspección de material, etc.

### *Costes de errores externos*

Los costes de errores externos son los originados por los servicios que no se adaptan a los requisitos o a las necesidades del cliente cuando se detectan o mientras se presta el servicio (o una vez prestado). Ejemplos: costes de procesamiento de las quejas de los clientes, devoluciones, etc.

La mayor partida de los costes de la calidad acostumbra a ser la de los errores (internos y externos). Es aquí donde se encuentran más oportunidades de mejora (reducción de costes y de eliminación de causas de insatisfacción de los clientes)

## **2.2 NO CONFORMIDAD**

De forma general, una no-conformidad es cualquier falta de cumplimiento con los requisitos especificados para un producto o servicio. Con este mismo significado se entenderán los conceptos “Discrepancia” y “Desviación”.

Una no-conformidad puede ser menor, mayor o crítica según la probabilidad que tiene de reducir el uso previsto del producto, teniendo más o menos importancia en lo que afecta a:

- características operacionales
- resistencia estática o a fatiga y tolerancia al daño
- compatibilidad electromagnética
- características de protección contra rayos
- funcionabilidad
- instalación o interfaces
- resistencia a la corrosión y al desgaste
- intercambiabilidad

- originar un repuesto especial
- mantenibilidad.

Una no-conformidad crítica es aquella que, en el momento de identificar la no-conformidad, la experiencia o razonamiento estiman que probablemente pueda producir condiciones peligrosas o inseguras para quienes usen, mantengan o dependan del producto, o es probable que impida que se realice una misión.

### **2.3 TÉCNICAS UTILIZADAS EN LOS GRUPOS DE MEJORA**

En la actualidad trabajar en grupo aporta a las organizaciones una gran cantidad de ventajas sobre el trabajo individual de cada uno de sus miembros. Este tipo de trabajo produce sinergias, esto implica que el resultado global del trabajo en grupo es mayor que la suma del trabajo individual de cada miembro por separado. También se potencia la creatividad del equipo y adecuadamente gestionado aumenta el compromiso de los miembros "por el bien del equipo".

Por contra también tiene sus desventajas ya que es más difícil coordinar, las funciones individuales se diluyen y se puede tender a aprovecharse del trabajo del compañero. Consumir demasiado tiempo discutiendo o que se tomen acciones prematuras siguiendo la opinión de personas influyentes dentro del grupo, son también problemas muy frecuentes a la hora de afrontar trabajos en grupo. Para evitar esto es útil marcar las funciones y asignar objetivos individuales aun manteniendo el objetivo final común.

Los grupos de mejora son grupos que involucran a personas de diversos departamentos de una empresa para tratar de solucionar los problemas que afectan a dicha empresa. Como grupo es necesario trabajar de una forma organizada. Para organizar todo el trabajo de forma adecuada y que el trabajo resulte útil.



Como en todo grupo, deben existir diferentes figuras que hacen que el equipo se comporte como tal. Debe existir un coordinador que gestione los tiempos y resuma las conclusiones para que esté el grupo de acuerdo en los puntos alcanzados, especialistas que aporten un punto de vista técnico al problema, personas de carácter creativo que aporten un punto de vista diferente.

### 2.3.1 Brainstorming

Con esta técnica se trata de recoger el mayor número de ideas posibles. Durante la reunión se propone un tema y todos los miembros pueden expresar todos sus pensamientos libremente sobre el tema siguiendo algunas reglas básicas:

- Toda crítica o evaluación previa está prohibida.
- Cualquier idea es bienvenida.
- Se da prioridad a la cantidad sobre la calidad. Se trata de recoger tantas ideas como sea posible.
- Se busca la asociación de ideas y el desarrollo de las mismas.

Los participantes pueden expresar cualquier idea sin ningún tipo de inhibición aunque pueda parecer ridícula o absurda. Pueden aprovecharse ideas que han expresado los demás, mediante asociación, derivación, oposición o ampliación.

A partir de la lista resultante se pasa a la fase posterior de evaluación de la misma. El grupo puede establecer previamente conceptos y criterios según los cuales se va a evaluar, por ejemplo: rentabilidad, factibilidad, coste, ventajas e inconvenientes.

Posteriormente es necesaria una evaluación del trabajo en equipo. En esta etapa es importante que el coordinador del grupo haga un balance en el cual se incluyan todas las decisiones tomadas, las registre y las recuerde de nuevo a todos los miembros para asegurar que todos están de acuerdo.

### 2.3.2 Cinco Por Qué

Los Cinco Por Qué es una técnica sistemática de preguntas utilizada durante la fase de análisis de problemas para buscar posibles causas principales de un problema. El método consiste en, a partir de un problema identificado, responder a sucesivas preguntas que lleven a comprender la raíz del problema. Se utiliza para intentar identificar las causas principales más probables de un problema.

#### *¿Cómo se utiliza?*

1. Realizar una sesión de Brainstorming normalmente utilizando el modelo del Diagrama de Causa y Efecto.
2. Una vez que las causas probables hayan sido identificadas, empezar a preguntar “¿Por qué es así?” o “¿Por qué está pasando esto?”
3. Continuar preguntando Por Qué al menos cinco veces. Esto reta al equipo a buscar a fondo y no conformarse con causas ya “probadas y ciertas”.
4. Habrá ocasiones en las que se podrá ir más allá de las cinco veces preguntando Por Qué para poder obtener las causas principales.
5. Durante este tiempo se debe tener cuidado de NO empezar a preguntar “Quién”. Se debe recordar que el equipo está interesado en el Proceso y no en las personas involucradas.

Un ejemplo clásico de esta herramienta y muy ilustrativo es el siguiente:

### *Monumento de Lincoln.*

1. Se descubrió que el monumento de Lincoln se estaba deteriorando más rápido que cualquiera de los otros monumentos de Washington D.C, – ¿Por qué?
2. Porque se limpiaba con más frecuencia que los otros monumentos – ¿Por qué?
3. Se limpiaba con más frecuencia porque había más depósitos de pájaros en el monumento de Lincoln que en cualquier otro monumento – ¿Por qué?
4. Había más pájaros alrededor del monumento de Lincoln que en cualquier otro monumento, particularmente la población de gorriones era mucho más numerosa – ¿Por qué?
5. Había más comida preferida por los gorriones en el monumento de Lincoln - específicamente ácaros – ¿Por qué?
6. Descubrieron que la iluminación utilizada en el monumento de Lincoln era diferente a la de los otros monumentos y esta iluminación facilitaba la reproducción de ácaros.

Con este ejemplo se puede ver cómo después de una serie de preguntas, se llega a una conclusión que no cabía imaginar en un principio y se puede eliminar el problema de una forma mucho más eficaz.

Si se hubiese detenido el análisis en un punto anterior, por ejemplo en el cuarto porqué, se podría pensar que se está ante la raíz del problema, la cantidad de pájaros que se encontraban en el monumento. Se podría haber solucionado parcialmente

impidiendo que los pájaros se alojasen allí, pero el problema no estaría completamente solucionado ya que se trataría de una solución parcial y no se habría eliminado la causa raíz del problema.

### 2.3.3 Método Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa (o también llamado diagrama de causa-efecto) se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también diagrama de espina de pescado, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central. Es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas.

Fue concebido por el licenciado en química japonés, Doctor Kaoru Ishikawa en 1953 cuando se encontraba trabajando con un grupo de ingenieros de la firma Kawasaki Steel Works. El resumen del trabajo lo presentó en un primer diagrama, al que le dio el nombre de Diagrama de Causa y Efecto. Su aplicación se incrementó y llegó a ser muy popular a través de la revista Gemba To QC (Control de Calidad para Supervisores) publicada por la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses (JUSE). Debido a su forma se le conoce como el diagrama de Espina de Pescado. El reconocido experto en calidad Dr. J.M. Juran publicó en su conocido Manual de Control de Calidad esta técnica, dándole el nombre de Diagrama de Ishikawa.

#### *Diagrama de Causa y Efecto*

Cuando se ha identificado el problema a estudiar, es necesario buscar las causas que producen la situación anormal. Cualquier problema por complejo que sea, es producido por factores que pueden contribuir en una mayor o menor proporción. Estos factores pueden estar relacionados entre sí y con el efecto que se estudia. El Diagrama de Causa y Efecto es un instrumento eficaz para el análisis de las diferentes

causas que ocasionan el problema. Su ventaja consiste en poder visualizar las diferentes cadenas Causa y Efecto, que pueden estar presentes en un problema, facilitando los estudios posteriores de evaluación del grado de aporte de cada una de estas causas.

Cuando se estudian problemas de fallos en equipos, estos pueden ser atribuidos a múltiples factores. Cada uno de ellos puede contribuir positiva o negativamente al resultado. Sin embargo, alguno de estos factores pueden contribuir en mayor proporción, siendo necesario recoger la mayor cantidad de causas para comprobar el grado de aporte de cada uno e identificar los que afectan en mayor proporción. Para resolver esta clase de problemas, es necesario disponer de un mecanismo que permita observar la totalidad de relaciones causa-efecto.

Un Diagrama de Causa y Efecto facilita recoger las numerosas opiniones expresadas por el equipo sobre las posibles causas que generan el problema. Se trata de una técnica que estimula la participación e incrementa el conocimiento de los participantes sobre el proceso que se estudia.

### *Construcción del diagrama de Causa y Efecto.*

El Diagrama de Causa y Efecto es un gráfico con la siguiente información:

- El problema que se pretende diagnosticar
- Las causas que posiblemente producen la situación que se estudia.
- Un eje horizontal conocido como espina central o línea principal.
- El tema central que se estudia se ubica en uno de los extremos del eje horizontal. Este tema se sugiere encerrarlo en un rectángulo. Es frecuente que este rectángulo se dibuje en el extremo derecho de la espina central.

- Líneas o flechas inclinadas que llegan al eje principal. Estas representan los grupos de causas primarias en que se clasifican las posibles causas del problema en estudio.
- A las flechas inclinadas o de causas primarias llegan otras de menor tamaño que representan las causas que afectan a cada una de las causas primarias. Estas se conocen como causas secundarias.
- El Diagrama de Causa y Efecto debe llevar información complementaria que lo identifique. La información que se registra con mayor frecuencia es la siguiente: título, fecha de realización, área de la empresa, integrantes del equipo de estudio, etc.

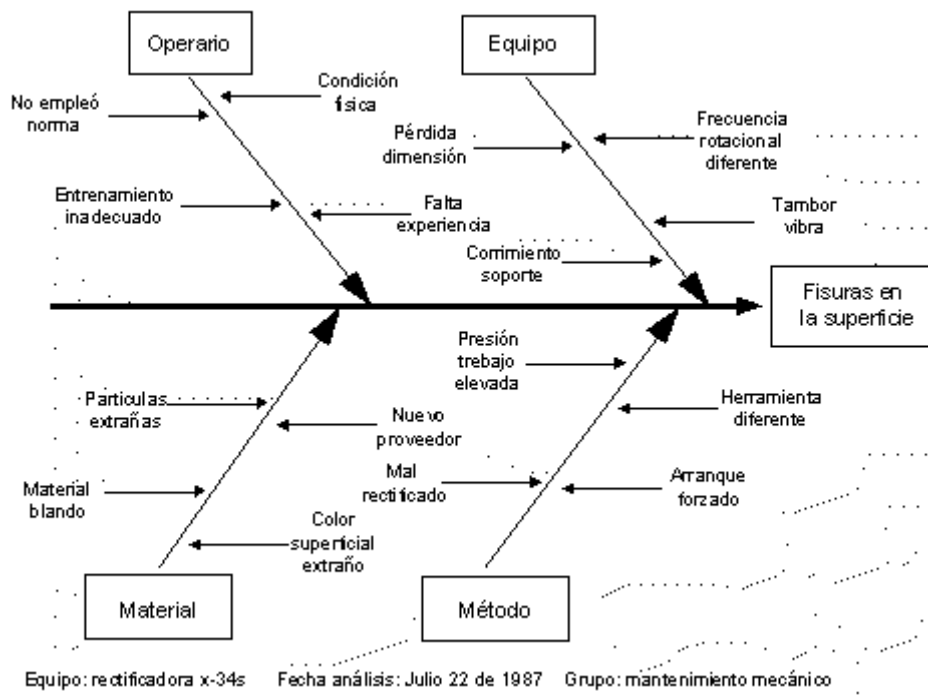


Figura 2 Diagrama de Ishikawa completo para un proceso de mecanizado

### *Estructura de un diagrama de Causa y Efecto.*

Cuando un equipo trabaja en el diagnóstico de un problema y se encuentra en la fase de búsqueda de las causas, seguramente ya cuenta con un Diagrama de Pareto. Este diagrama ha sido construido por el equipo para identificar las diferentes características prioritarias que se van a considerar en el estudio de causa-efecto. Este es el punto de partida en la construcción del diagrama de Causa y Efecto.

Para una correcta construcción del Diagrama de Causa y Efecto se recomienda seguir un proceso ordenado, con la participación del mayor número de personas involucradas en el tema de estudio.

El Doctor Kaoru Ishikawa sugiere la siguiente clasificación para las causas primarias. Esta clasificación es la más ampliamente difundida y se emplea preferiblemente para analizar problemas de procesos y averías de equipos; pero pueden existir otras alternativas para clasificar las causas principales, dependiendo de las características del problema que se estudia.

#### Causas debidas a la materia prima

Se tienen en cuenta las causas que generan el problema desde el punto de vista de las materias primas empleadas para la elaboración de un producto. Por ejemplo: causas debidas a la variación del contenido mineral, pH, tipo de materia prima, proveedor, embalaje, transporte etc. Estos factores causales pueden hacer que se presente con mayor severidad un fallo en un equipo.

### Causas debidas a los equipos

En esta clase de causas se agrupan aquellas relacionadas con el proceso de transformación de las materias primas como las máquinas y herramientas empleadas, efecto de las acciones de mantenimiento, obsolescencia de los equipos, cantidad de herramientas, distribución física de estos, problemas de operación, eficiencia, etc.

### Causas debidas al método

Se registran en esta espina las causas relacionadas con la forma de operar el equipo y el método de trabajo. Son numerosas las averías producidas por sobreexplotación de los equipos, deficiente operación y falta de respeto de los estándares de capacidades máximas.

### Causas debidas al factor humano

En este grupo se incluyen los factores que pueden generar el problema desde el punto de vista del factor humano. Por ejemplo, falta de experiencia del personal, salario, grado de entrenamiento, creatividad, motivación, pericia, habilidad, estado de ánimo, etc.

Debido a que no en todos los problemas se pueden aplicar las anteriores clases, se sugiere buscar otras alternativas para identificar los grupos de causas principales. De la experiencia se ha visto frecuentemente la necesidad de adicionar las siguientes causas primarias.



### Causas debidas al entorno.

Se incluyen en este grupo aquellas causas que pueden venir de factores externos como contaminación, temperatura del medio ambiente, altura de la ciudad, humedad, ambiente laboral, etc.

### Causas debidas a las mediciones y metrología.

Frecuentemente en los procesos industriales los problemas de los sistemas de medición pueden ocasionar pérdidas importantes en la eficiencia de una planta. Es recomendable crear un nuevo grupo de causas primarias para poder recoger las causas relacionadas con este campo de la técnica. Por ejemplo: descalibraciones en equipos, fallos en instrumentos de medida, errores en lecturas, deficiencias en los sistemas de comunicación de los sensores, etc.

El animador de la reunión es el encargado de registrar las ideas aportadas por los participantes. Es importante que el equipo defina la espina primaria en que se debe registrar la idea aportada. Si se presenta discusión, es necesario llegar a un acuerdo sobre dónde registrar la idea. En situaciones en las que es difícil llegar a un acuerdo y para mejorar la comprensión del problema, se pueden registrar una misma idea en dos espinas principales. Sin embargo, se debe dejar esta posibilidad solamente para casos extremos.

### *Interpretación del Diagrama de Causa y Efecto.*

En este paso se debe leer y obtener las conclusiones de la información recogida. Para una correcta utilización es necesario asignar el grado de importancia a cada factor y marcar los factores de particular importancia que tienen un gran efecto sobre el problema. Este paso es fundamental dentro de la metodología de la calidad, ya que se

trata de un verdadero diagnóstico del problema o tema en estudio. Para identificar las causas más importantes se pueden emplear los siguientes métodos:

#### Diagnóstico con información cualitativa

Cuando se dispone en un Diagrama de Causa y Efecto con numerosa información cualitativa, opiniones o frases, es el caso de causas relacionadas con la motivación del personal, falta de capacitación, sentido de pertenencia y otras causas difícilmente cuantificables, es necesario procesar esta información a través de técnicas especiales como el Diagrama de Afinidad y Diagrama de Relaciones. Esta clase de técnicas facilitan el proceso de información verbal y su priorización en base a la búsqueda de relaciones Causa y Efecto.

#### Diagnóstico cuantitativo

Cuando el Diagrama de Causa y Efecto contiene causas que son cuantificables y para las cuales podemos tener facilidad de recolección de datos, se recomienda realizar una evaluación del grado de contribución de cada una de las posibles causas al efecto. Esta clase de estudios se realizan empleando procedimientos estadísticos simples como el Diagrama de Dispersión.

Estas técnicas permiten evaluar en una forma fácil el grado de contribución de cada causa al efecto. Con cada uno de los grados de contribución obtenidos se podrá construir un Diagrama de Pareto e identificar la causa que más aporta al problema.

---

### *Cuidados a tener con el diagnóstico a través del diagrama de Causa y Efecto*

Para el estudio de los problemas de averías de equipos, el análisis de factores o de calidad sin haber realizado un estudio profundo del equipo, sus mecanismos, estructura y funciones, puede conducir a soluciones superficiales. Frecuentemente la construcción del Diagrama Causa y Efecto se realiza a través de la tormenta de ideas, sin tener la posibilidad de validar y verificar a través de la inspección, si un determinado factor aportado por una persona del grupo de estudio contribuye o está presente en el problema que se estudia. De esta forma, los diagramas se hacen complejos, con numerosos factores y la priorización e identificación de estos factores es difícil debido a las relaciones complejas que existen entre estos factores.

Una práctica deficiente y frecuente en los estudios de averías empleando el diagrama Causa y Efecto consiste en que ciertos integrantes del equipo de estudio, fuerzan conclusiones relacionadas con el factor humano como las causas más importantes de la avería. Una vez construido el diagrama C-E el equipo llega a conclusiones como " los factores causales de la pérdida está en un alto porcentaje relacionados con la falta de formación de personal, experiencia, desmotivación, presión de los superiores, etc." No se quiere decir que estos temas no sean vitales; pero ante problemas técnicos de equipamiento, debido a la falta de información y al no poder priorizar los factores con datos, se especula y finalmente se evade el problema central, que en el fondo es un problema técnico.

Otra situación anormal y que hay que evitar en el uso del diagrama de causa y efecto durante el análisis de las causas, consiste en la omisión de factores causales, debido a que no se realiza una observación directa de la forma como se relacionan las variables. La falta de evaluación del problema *in situ* no permite reducir los problemas desde su raíz; simplemente se eliminan parcialmente algunos de los factores causales.

Esta metodología es lo suficientemente útil y brinda beneficios importantes, especialmente para mejorar el conocimiento del personal, ya que facilita un medio para el diálogo sobre los problemas de la planta. El empleo del diagrama causa y efecto ayuda a preparar a los equipos para abordar metodologías complementarias, que requieren un mayor grado de disciplina y experiencia de trabajo en equipo.

#### **2.3.4 Método de Kepner&Tregoe**

Este método es un método diseñado para la resolución de problemas. Fue desarrollado por Dr. Charles Kepner y Dr. Benjamin Tregoe. Está basado en cinco puntos fundamentales: reconocer un problema, describir el problema, desarrollar posibles causas, pensar más allá del arreglo y elegir el arreglo. Airbus es cliente de la consultora del mismo nombre y que explota el método y por este motivo se eligió por la dirección como herramienta para el proyecto. En la práctica resultó ser un método demasiado complejo para el tipo de problemas a resolver, pero puede resultar útil en problemas más complejos o si otros métodos más simples no resultan eficaces.

El primer paso que define el método es:

##### *Reconocer un problema*

Un problema ocurre cuando lo que está pasando realmente difiere de lo que debería estar pasando y se debe encontrar el por qué. Esto es, se debe encontrar la causa.

Una decisión es cuando se debe escoger la mejor manera de eliminar la causa de un problema.

Un problema potencial es un problema que puede ocurrir en algún tiempo futuro. Siempre que sea posible es preferible tomar acciones para evitar problemas potenciales futuros.

Para reconocer un problema, es necesario primero conocer el cómo deberían ser las cosas y cómo son en realidad. Si se detecta una diferencia entre ambos estados, se está delante de un problema o desviación. La detección de defectos empieza con una noción clara de qué debería suceder, cuanto más nítida sea esta definición del debiera, más fácil es encontrar una desviación con la realidad.

Una preocupación es un problema, decisión o problema potencial que necesita una acción por parte de usted o de alguien de su equipo. Anotar las preocupaciones puede ayudar a seguir la pista del problema. Pueden venir de cualquier parte, pero hacerse preguntas del tipo: ¿qué me molesta? ¿qué acciones debo tomar? Ayudan a identificar las preocupaciones. Las respuestas a estas preguntas darán una lista de preocupaciones.

Cada problema puede tener una causa diferente, es muy importante trabajar sobre ellos por separado y uno a la vez. Siempre hay que tratar de separar los problemas en problemas sencillos que se puedan solucionar individualmente.

Cuando se están separando los problemas se puede obtener información más precisa que sirva para aclarar más cada problema.

Cuando se separan y aclaran preocupaciones, se puede encontrar que algunos problemas no son realmente problemas, sino problemas potenciales y algunas decisiones mezcladas con los problemas.

No se puede abarcar todo al mismo tiempo. Cuando hay más de un problema a solucionar, se deben enfocar esfuerzos hacia donde harían el mayor bien posible. No es suficiente fijar prioridades, es necesario adherirse a las prioridades que fijó. Si se salta de un problema a otro no se resolverá ninguno. Existen muchas formas de fijar prioridades, ya que para cada empresa son importantes diferentes aspectos, como el

coste, la calidad, la satisfacción del cliente, etc. Para este proyecto se desarrolló una priorización específica que se explicará con detalle en el apartado 3.3.3.

### *Describir el problema*

Después de reconocer el problema, el siguiente paso es describirlo de forma detallada. Para ello es necesario recopilar toda la información que se tenga disponible. Lo primero que se debe hacer es enunciar el problema.

Un enunciado debe contener siempre un objeto y un defecto. El objeto es lo que tiene el problema. El defecto es lo que está mal en el objeto. Ambos deben ser tan específicos como sea posible. Esto ayudará a cualquier persona que trabaje en el problema a reconocerlo fácilmente.

La especificación del problema es información de una serie de preguntas acerca del ¿QUÉ?, ¿DÓNDE?, ¿CUÁNDO? Y ¿CUÁNTO?. Esto ayudará a marcar qué ES y qué NO ES. Usamos los NO ES para marcar las fronteras del problema y orientarnos hacia la causa.

Se deben realizar preguntas sencillas que ayuden a conocer los 4 parámetros básicos del problema. Después de conocer el problema, se pueden desarrollar posibles causas.

### *Desarrollar posibles causas*

Una vez que se tiene una buena descripción del problema, se deben buscar las posibles causas. Después de haber escrito enunciado y especificación del problema, se deberá usar el conocimiento y la experiencia para descubrir las posibles causas del problema. Los enunciados de posibles causas deben tener un objeto y un defecto igual que los enunciados de problema.

Después de tener recogidas las posibles causas, se deben contrastar con la especificación del problema de forma concreta para descartar las causas que no pueden crear el problema. Este punto requiere rigor y evitar hacer suposiciones improbables o innecesarias.

Después de desarrollar las posibles causas, la causa que necesite menos supuestos para cumplir las especificaciones del problema será la causa más probable y será la primera en probar. Si esta causa no resultase la verdadera causa, se debe volver a la lista y probar la siguiente.

Cuando se ha elegido la causa más probable, se debe verificar o comprobar esa causa. Hay cuatro formas de verificar la causa más probable:

- Verificación de los hechos. Comprobar que los supuestos vienen a ser hechos, si esto es así puede ser la verdadera causa del problema.
- Observación. Muchas veces todo lo que se necesita para verificar la verdadera causa es ver cómo la causa crea el problema
- Verificación por investigación. Si se puede reproducir el problema mediante un experimento y se logra “encender” y “apagar” el problema variando la posible causa, se tiene la verdadera causa.
- Verificación por resultados. Se debe arreglar el problema y monitorizar la situación. Si el problema desaparece, es muy probable que sea la posible causa.

Se deberá usar el método más barato, rápido y seguro para verificar la verdadera causa en primer lugar.

Es muy importante remarcar que no se deben tomar acciones correctivas antes de estar seguro de que se ha encontrado la verdadera causa del problema. Un problema

no se puede eliminar a no ser que se elimine su causa, así que las acciones correctivas tienen que estar encaminadas a eliminar la causa del problema.

En muchos casos, debido a la urgencia, se pueden tomar lo que se denominan acciones interinas. Estas acciones están encaminadas a aliviar el problema mientras se encuentran las causas que lo producen. Este tipo de medidas no intenta ser permanente, y en la mayoría de los casos supone un sobrecoste en la producción.

En algunas ocasiones, sin embargo, se decide no tomar acción correctiva. Puede ser porque no haya forma de arreglar el problema, o que el arreglo resulte tan caro que no convenga implementarlo. En estos casos se puede decidir hacer permanente la acción interina convirtiéndola en acción adaptativa. Esta acción permite convivir con el problema haciendo menos serios sus efectos. Si se pretende que sea permanente, la acción correctiva nunca se tomará. En muchos casos, cuando un componente falla, se cambia. Nadie se pregunta por qué se dañó ni en que falla, solo se cambia. Este tipo de acción adaptativa, permite ahorrar tiempo y coste en una gran parte de ocasiones ya que muchos equipos están diseñados para ello.

### *Pensar más allá del arreglo*

Es importante no dar a los problemas ocasión para reaparecer. Cuando se encuentra la causa, puede que ésta esté ocultando otras más importantes que si no se remedian reproducirán el problema y obligarán a tomar acciones de nuevo. Para evitar esto se debe pensar más allá del arreglo

Se consigue pensar más allá del arreglo haciendo dos cosas: extender la causa y extender el arreglo. Hay 5 preguntas clave que ayudan a conseguir esto:



- ¿Qué daño podría haber creado esta causa?
- ¿Dónde más ha hecho daño esta causa?
- ¿Qué causó la causa?
- ¿Qué cosas idénticas requieren el mismo arreglo?
- ¿Qué problemas puede causar este arreglo?

Las tres primeras preguntas ayudan a extender la causa y las dos siguientes ayudan a extender el arreglo.

Si se consigue conocer la causa raíz del problema y extender el arreglo, se conseguirá solucionar el problema de una vez por todas.

### *Elegir el arreglo*

No importa lo complicada o simple que pueda ser una decisión, el enfoque básico debería ser el mismo. Primero se debe considerar los objetivos, luego pensar sobre las alternativas y por último considerar los riesgos de la elección que se quiera hacer.

Objetivos son los beneficios que se quieren obtener de la elección que haga. Cada objetivo es un enunciado corto de algo importante acerca de la decisión. Ejemplos de objetivo pueden ser utilizar un arreglo más barato, o utilizar a una determinada persona para que gane experiencia.

El primer paso es considerar objetivos. Para ello se debe enunciar la decisión para no perder el enfoque en lo específico de la decisión. En segundo lugar hay que desarrollar objetivos ya que estos son el criterio para evaluar las alternativas. Preguntar qué resultados se quieren obtener, que recursos usar o pensar en las restricciones es una buena forma de desarrollar los objetivos.

Por último queda clasificar los objetivos en dos categorías: objetivos obligatorios y objetivos deseados. Los objetivos obligatorios deben ser obligatorios, medibles y realistas.

Una vez considerados los objetivos, es tiempo de pensar en las alternativas. Hay muchas clases de alternativas. Pueden ser diferentes tipos de acciones, de personas, cosas físicas... Cada decisión tiene su propio rango de alternativas. Hay que escoger la alternativa que hace cumplir mejor los objetivos.

Para finalizar hay que evaluar los riesgos de estas alternativas. Estos riesgos son cosas que podrían salir mal con la alternativa que ha seleccionado. Los riesgos deberían ser cosas nuevas sobre las que no se pensó cuando se definieron los objetivos.

### **3 DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1 ANÁLISIS DE LOS COSTES DE NO CALIDAD**

En consonancia con lo explicado en el punto 2.1.2 los costes de no calidad se pueden dividir en dos categorías fundamentales:

##### **3.1.1 Costes directos**

En este apartado se incluyen los costes que se incurren a la producción de la pieza, estos se pueden agrupar principalmente en: coste de mano de obra y coste de material.

- Coste de mano de obra: Es el coste que aparece por la ejecución de los trabajos de reparación o de la realización de una nueva pieza, dependiendo de si el defecto es reparable o por el contrario la pieza es inútil.
- Coste de material: En este apartado se debe incluir el coste de los materiales necesarios para la reparación, por ejemplo, algún suplemento o pieza adicional que se deba incluir en la reparación; o el coste de los materiales que se han necesitado para fabricar esa pieza si es inútil. También se debe incluir en este apartado el coste total de la pieza si esta se compra a un proveedor. En este caso, todo el coste de ese componente se debe considerar de material.

### 3.1.2 Costes administrativos

Uno de los puntos más importantes son los costes administrativos, al ser un coste de tiempo es fácil perder la noción de la cantidad de recursos que se pierden por esta vía.

En un primer análisis se debe describir el flujo que sigue una hoja de no conformidades para comprender qué departamentos están involucrados. Un ejemplo de este análisis para una empresa de tamaño medio-grande puede ser el que sigue:

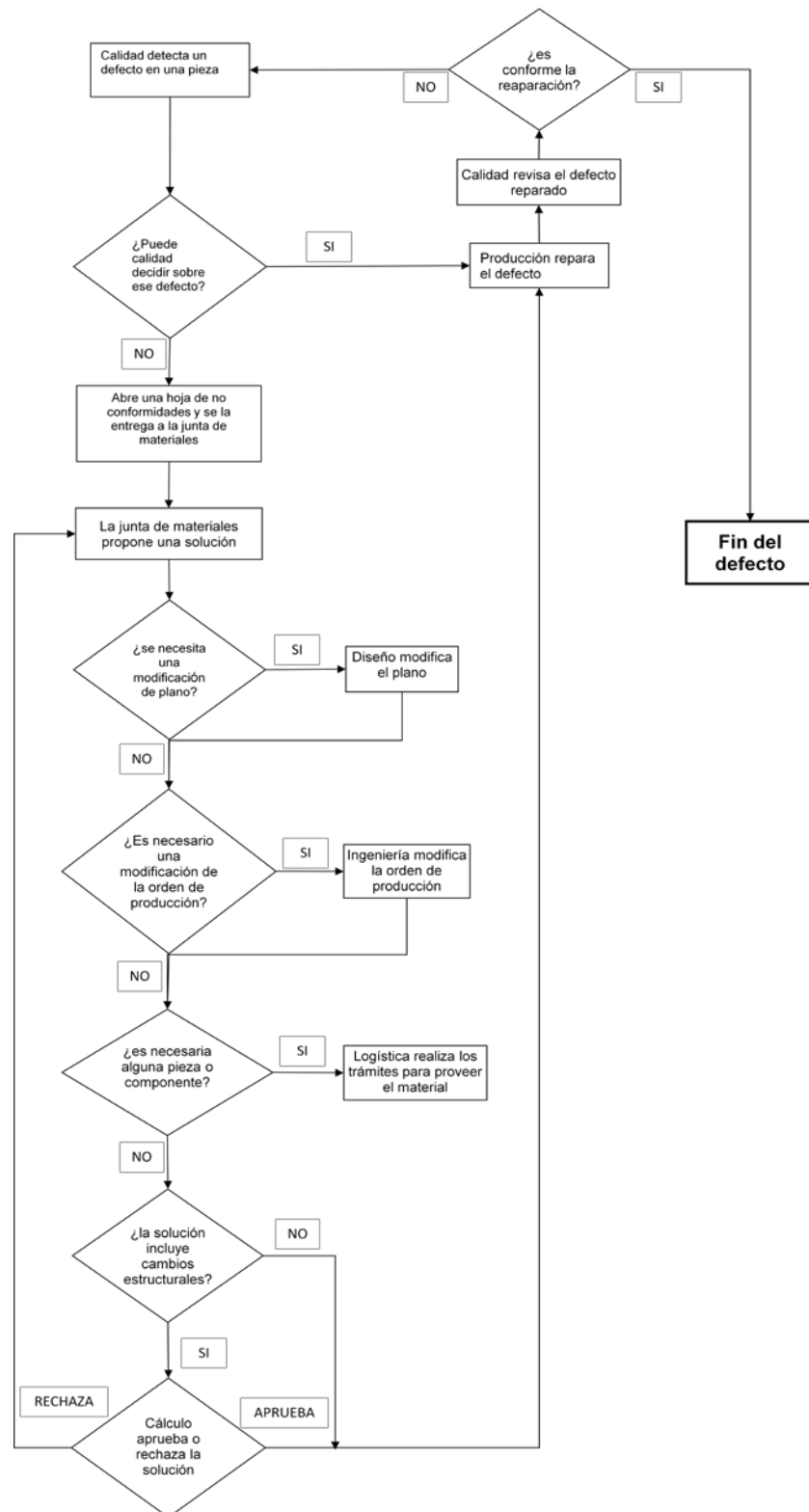


Figura 3 Diagrama de Flujo para una No conformidad

En segundo lugar es necesario evaluar el tiempo que invierte cada departamento en tratar los defectos que le llegan y el tiempo que tardan en dar salida a las hojas de no conformidad (HNCs). Este análisis tiene un doble objetivo, por un lado calcular el coste de tiempo que provoca cada HNC que se abre en la empresa, y por otro lado sirve también para detectar cuellos de botella en el flujo y poder mejorarlo, aunque este proceso queda fuera de este proyecto de mejora.

Realizar este cálculo es bastante sencillo desde el punto de vista matemático, pero tremendamente complicado desde el punto de vista operacional, ya que es difícil evaluar todos los costes que intervienen en la fabricación de los componentes.

Este coste administrativo se calcula como:

$$c_{admin} = \sum_i^n tiempo_i \times tarifa_i$$

Ecuación 1

donde el subíndice i indica cada departamento involucrado.

Es fácil imaginar que estos tiempos son muy cambiantes en función de muchas variables, como pueden ser:

- La naturaleza del defecto: en función del defecto que se haya reportado, puede tener una solución más rápida o más lenta.
- La persona que realiza el trabajo: Es un factor que muchas veces se pasa por alto, pero no todas las personas trabajan igual. El mismo trabajo realizado por dos personas diferentes suele tener un resultado diferente.
- Otros factores: problemas informáticos, falta de habilidad del personal, etc.

Si se dispone de un sistema de información bien implementado, se pueden conseguir estos costes. Por ejemplo si la empresa dispone de un ERP como SAP, en el que se puede tener la trazabilidad de quién ha estado involucrado en el flujo de un defecto concreto, es suficiente tener recogidos en una tabla el tiempo empleado y de tarifa horaria para cada departamento y unir ambas informaciones de cara a recoger solo los costes de los departamentos que han tenido que intervenir para arreglar el defecto.

Si la empresa no dispone de esta tecnología, se puede asignar un coste fijo a cada defecto en el que se recojan todos los costes de todos los departamentos que puedan ser involucrados en un defecto.

Este último caso suele ser para empresas pequeñas en las que el volumen de defectos es menor que para empresas grandes y no se incurre en un error muy grande al tomar esta solución de compromiso.

A la hora de obtener indicadores de la evolución de los costes de no calidad de la empresa, es tan importante reducir el coste de cada defecto como reducir el número de defectos. Es decir, muchos defectos pequeños que necesiten mucha documentación pueden resultar más costosos para la empresa que un solo defecto muy grande. Por otro lado también ayudan a concienciar a los empleados de lo que cuesta a la empresa producir piezas de mala calidad.

### **3.2 TRATAMIENTO DE LOS DEFECTOS**

Para poder clasificar los defectos que se producen en la fabricación de cualquier producto es necesario seguir una serie de pasos. Lo primero es detectar que hay una anomalía en la producción, después es necesario clasificar el defecto en función de su naturaleza, posteriormente agruparlo con otros que tengan una naturaleza similar y por último analizarlos para poder encontrar una solución.

### *Detectar*

Para detectar los defectos, es necesario realizar inspecciones de calidad en los productos. Estas inspecciones conllevan un coste asociado.

En un primer momento, cuando se habla de reducir los costes de calidad se puede tender a pensar que eliminando inspecciones o reduciendo el tamaño de las muestras se va a reducir estos costes. Efectivamente se van a reducir, pero por otro lado van a empezar a surgir problemas relacionados con la calidad del producto, lo cual va a incrementar los costes de no calidad y dañar la imagen de la empresa de cara a los clientes, en forma de defectos y demora en las entregas.

Como se puede observar en las siguientes gráficas, los costes de totales de calidad son la suma de los costes de fallos (no calidad) y de los costes de prevención (calidad). Buscar el punto óptimo de esta gráfica significa tener los costes totales de calidad más bajos posibles, es decir, encontrar su mínimo.

En esta primera gráfica tenemos un modelo de costes de una empresa antes de aplicar un estudio de costes como el presentado en este proyecto. La única forma de reducir los costes de fallos es incrementar los costes de prevención (número de inspecciones, hacerlas más exhaustivas, etc.) y se debe encontrar el punto mínimo entre ambos factores, es decir, no se puede obtener calidad 100% a un coste razonable.



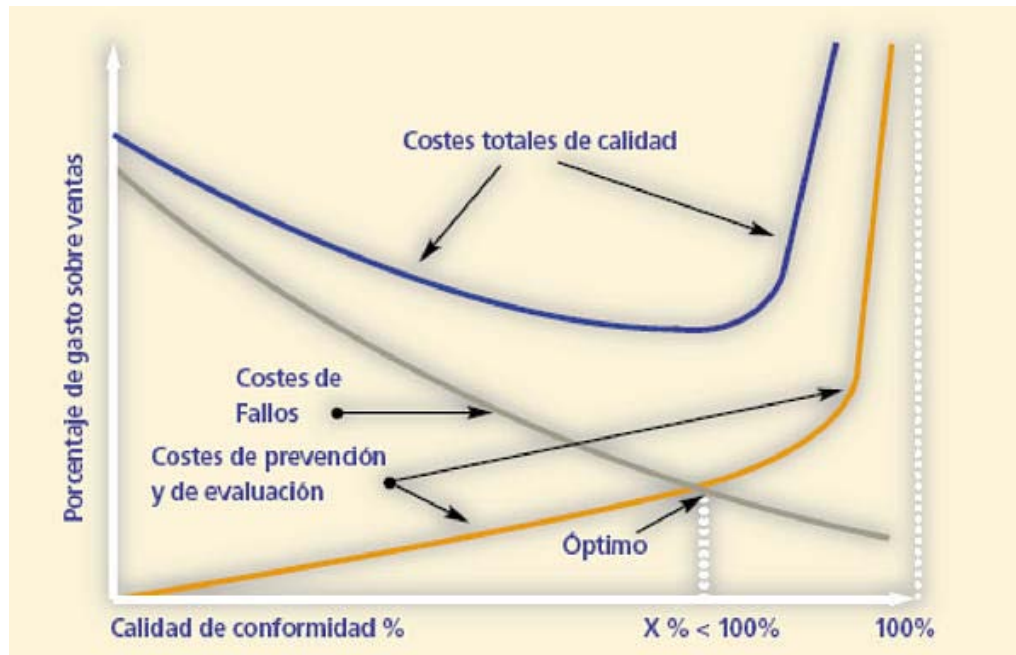


Figura 4 Gráfico de evolución de los costes de calidad (Fuente: partidadoble.wke.es)

En el segundo caso tenemos una empresa que utiliza un modelo como el aquí propuesto. En este caso se observa que el punto mínimo se produce para calidad 100%, este caso es el ideal al que se desearía llegar con la implementación este proyecto.

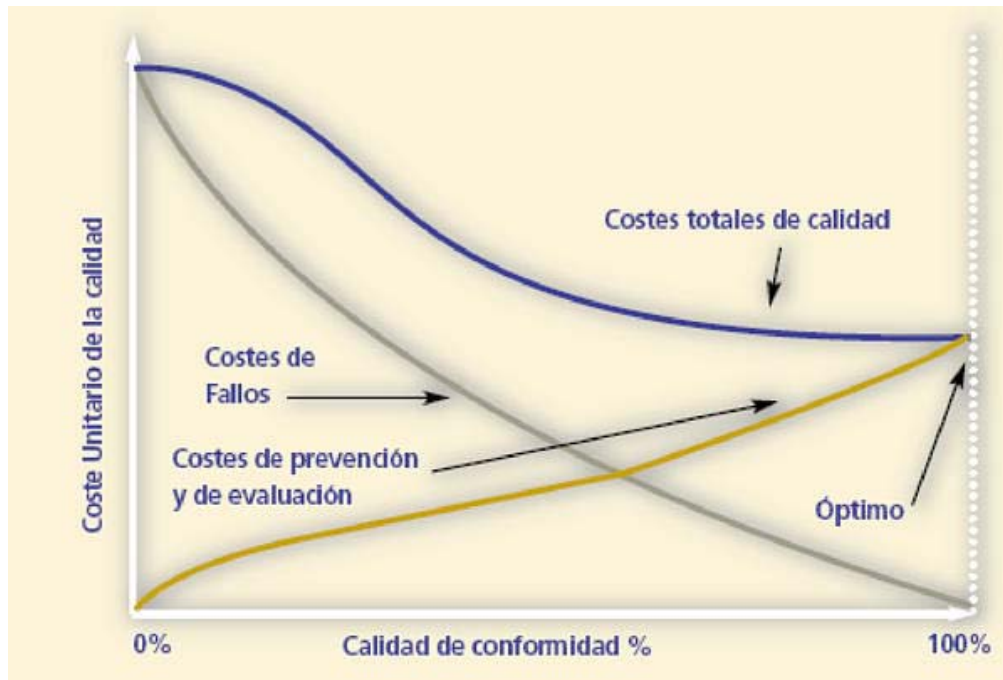


Figura 5 Gráfico de evolución de los costes de calidad (Fuente: partidadoble.wke.es)

La diferencia entre ambos casos radica en la forma de disminuir los costes de no calidad.

La primera empresa, para disminuir los problemas de calidad, lo que se realiza es un control mucho más estricto, incrementando los ensayos sobre las materias primas, lo que hace que los costes se disparen; e introduciendo muros de calidad, lo cual interrumpe el flujo productivo y resulta muy perjudicial para el proceso ya que genera cuellos de botella en el departamento de calidad.

En el segundo caso, se trabaja sobre los defectos, por lo que aún incrementando los costes de prevención y evaluación (como es lógico, realizar este proceso conlleva un coste asociado que dependerá de la magnitud de la empresa) se puede llegar a

reducir a 0 el número de defectos, eliminando los costes de no calidad y alcanzando el mínimo en este punto en el caso ideal.

### *Clasificar*

Una vez detectados los problemas, se deben clasificar según la naturaleza del defecto. Una buena manera de hacer esto es codificar los posibles defectos y asignarles uno de estos códigos a cada defecto que se vaya encontrando en función de su naturaleza.

También es conveniente identificar causas de una forma rigurosa, es decir, la persona que detecta el defecto debe investigar cuál es la causa real que ha originado el problema. Es muy sencillo achacar los defectos a errores humanos, pero esta información no ayuda en nada al análisis y de hecho puede llegar a ser contraproducente, ya que oculta las causas reales.

Con esta información se pueden elaborar paretos en función de la defectología y de la causalidad, lo que será útil posteriormente para priorizar el análisis.

### *Agrupar*

Es conveniente agrupar defectos en categorías sencillas para tener una idea general de en qué procesos se está teniendo la mayor cantidad de los problemas. Además es bastante probable que problemas de naturaleza parecida tengan causas raíz similares, con lo que se facilita el trabajo posterior de los grupos de mejora.

Una vez realizada esta agrupación se puede empezar a analizar los resultados.

### *Analizar*

Una vez detectados, clasificados y agrupados, se va a hacer un estudio de la situación inicial en la que se encuentra la empresa. Este análisis ofrece una primera idea de qué cantidad y dónde se producen las mayores pérdidas en cuanto a costes de calidad y servirá de guía para orientar el trabajo de mejora en una u otra dirección.

## **3.3 LOS GRUPOS DE MEJORA**

### **3.3.1 Formación de los grupos de mejora**

Los grupos de mejora son grupos creados con la idea de perfeccionar los procesos productivos para disminuir la defectología de la planta. Se podría encuadrar dentro del ámbito de la mejora continua, pero es necesario que involucren a todos los departamentos de la empresa, ya que todos participan en el proceso productivo.

En primer lugar, se debe tratar de incluir en los grupos de mejora sólo a las personas o departamentos cuya presencia vaya a ser necesaria. No es conveniente ni para la empresa ni para los propios grupos, que departamentos que no estén involucrados en los temas a tratar estén presentes.

Una buena solución es realizar unas primeras reuniones en las que se incluyan todos los departamentos y en ellas decidir en qué orden afrontar los problemas y cuales son los departamentos que son necesarios en cada caso. A partir de ahí, preparar una agenda con reuniones periódicas adecuándolas a los temas a tratar en cada una.

### **3.3.2 Las reuniones**

Dentro de estas reuniones, es donde se van a tratar los problemas y cómo resolverlos, utilizando las técnicas explicadas en los apartados anteriores.

Las reuniones involucran a muchos departamentos, por lo que va a ser difícil encontrar huecos comunes para todos los participantes. Es conveniente fijar un horario periódico para crear un hábito entre los participantes.

En la mayoría de los casos estas personas no van a tener dedicación exclusiva, por lo que se trata de ocuparles el menor tiempo posible, para que no se tomen las reuniones como un problema para su trabajo diario.

Reuniones de media hora aproximadamente en las que se aborden los problemas de uno en uno serían suficientes para ir avanzando en la resolución de los problemas.

Hay dos tipos de reuniones, unas primeras reuniones de identificación y priorización de los defectos, y cuando esto se ha conseguido, posteriormente se pasa a una etapa de análisis y resolución, siguiendo las prioridades marcadas con anterioridad.

### **3.3.3 Priorización de defectos. Master List**

Para solucionar los problemas es preferible ir solucionándolos poco a poco de forma individual que tratar de solucionar todos los problemas de golpe. Por este motivo es necesario establecer unas prioridades que indiquen qué problema se debe atajar primero.

Se puede utilizar una matriz de coeficientes que nos permita ponderar los parámetros de los que se compone un problema, mayorando los que consideremos más importantes y minorando los menos significativos. Es conveniente hacer notar que esta ponderación puede cambiar de un grupo a otro dependiendo de lo que se considere más importante. Por ejemplo, puede ser interesante al principio, para grupos poco experimentados, escoger problemas fáciles de resolver para ir creando una rutina y

ganando experiencia al principio y también para aumentar la moral del grupo y que se impliquen en mayor medida.

El objetivo de esta priorización es cuantificar en qué medida afectan a los costes cada defecto o problema encontrado.

Con una simple hoja Excel en la que se introduzcan los parámetros que se quieran ponderar y unos coeficientes que varíen, por ejemplo, del 1 al 10 obtenemos una clasificación de los problemas a resolver ordenados con una puntuación que nos da el orden para atacarlos. Parámetros que pueden ser importantes son:

- Coste. Este parámetro es fundamental, es el parámetro que cuantifica los problemas de una forma económica que es principalmente lo que guía las decisiones empresariales.
- Dificultad. Si se intuye que el problema va a tener una solución muy compleja, se debe minorar la puntuación de este apartado
- Severidad. Si el defecto provoca que las piezas sean inútiles, debemos darle prioridad ante otros defectos que con una sencilla reparación sean subsanables o que puedan ser aceptables con el defecto.
- Viabilidad de resolución. Si se espera una solución inviable, por coste (independientemente de si es compleja o no) es preferible dejar este problema como no prioritario.
- Frecuencia. Si el defecto aparece siempre que se fabrica la pieza, se deberá atacar antes que si surge en contadas ocasiones.
- Impacto en el cliente. Cuando se habla de cliente, no solo se debe pensar en el cliente final del producto. También se deben tener en cuenta puntos posteriores del proceso de fabricación. Cuanto más avance el defecto, más

importancia se le debe dar. En cada etapa que avanza el producto, el coste de un defecto se multiplica por 10.

- Facilidad para detectar el defecto. ¿Llega siempre la pieza al cliente con el defecto? ¿Lo detectamos siempre? Son preguntas que debe realizar el equipo para valorar este apartado.

Estas valoraciones se hacen antes de analizar los defectos, por lo que se trata de estimaciones que hace el grupo, y en este caso la experiencia de sus miembros juega un papel fundamental.

Cuantificando todos estos parámetros, se obtiene una lista ordenada de defectos según la prioridad que les hayamos asignado y se puede comenzar a analizarlos.

A modo de ejemplo, aquí se muestra lo que podría ser una master list para una empresa cualquiera.

Tabla 1 Master list para la resolución de problemas

## MASTER LIST DEFECTOS GRUPOS DE MEJORA

ID	Defecto	Detectable	Viabilidad	Severidad	Frecuencia	Impacto en cliente	Coste	
1	Problema 1	3	1	5	1	5	1000	3200
2	Problema 2	2	3	5	4	4	3000	11550
3	Problema 3	1	2	4	1	1	5000	9750
4	Problema 4	1	2	1	1	2	350	507,5
5	Problema 5	5	2	4	3	5	800	3000
6	Problema 6	2	2	2	1	2	1000	1800

Para el cálculo de este ejemplo, se ha multiplicado la columna de coste por un coeficiente, que ha sido calculado multiplicando el valor de cada parámetro por un coeficiente de ponderación. Este coeficiente sirve para dar la importancia que el grupo considere oportuno a cada campo. Así se le podrá dar más peso, por ejemplo, al impacto en el cliente que a la frecuencia si este último no se considera predominante para la estrategia de la empresa. El valor de los coeficientes aplicados al ejemplo es el siguiente:

**Tabla 2 Coeficientes de ponderación Master List**

Tabla Ponderación	
Detectabilidad	0,1
Viabilidad	0,2
Severidad	0,25
Frecuencia	0,2
Impacto en cliente	0,25
Total	1

Este análisis nos lleva a intentar resolver en primer lugar el problema número 2 ya que, sin ser el que más coste origina, es muy repetitivo, obliga a tirar todas las piezas y tiene un alto impacto en el cliente.

Es conveniente aclarar que los parámetros deben ir orientados al mismo objetivo, es decir, puntuaciones altas nos deben indicar que esos problemas deben ser solucionados antes. Por ejemplo, la dificultad de resolución lleva a hacer la pregunta ¿Es difícil de resolver? En caso afirmativo se pondrá una puntuación alta y se produce el efecto contrario al deseado. Es conveniente en este caso utilizar facilidad en lugar de dificultad.



### 3.3.4 Análisis y solución de problemas

Una vez se tengan identificados los problemas, establecido el orden en el que se van a atacar y quién va a formar parte de los grupos de mejora, llega el momento de plantear realmente la resolución de los problemas.

Utilizando todas las herramientas expuestas anteriormente, el grupo debe ser capaz de identificar las causas del problema, y por lo menos cuantificar de manera aproximada la solución de los mismos.

Puede darse el caso que, por ejemplo, un defecto origine un coste de 300€ mensuales, pero para su solución sea necesario invertir 1 millón de euros en una nueva máquina. En este caso, la solución no debe ser implementada, ya que sería preferible asumir ese coste a realizar la inversión para mejorarlo.

## 3.4 EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS RESULTADOS

Durante la realización de este estudio es conveniente seguir registrando los costes referentes a la calidad. Posteriormente, se podrá observar en qué medida se han reducido y cómo se distribuyen después de solucionar los defectos, y de esta forma, se puede repetir todo el proceso hasta eliminar todos los costes de no calidad de la empresa.

Una de las herramientas más visuales es realizar un pareto de defectos por coste. En este se obtiene de forma ordenada el coste total ocasionado por cada defecto y se puede ver la evolución de una medición a la siguiente. Realizando estos gráficos mensualmente, se obtiene una idea aproximada de la evolución del trabajo y a corto plazo puede servir también para comprobar la validez de las soluciones aportadas.

### 3.5 HISTÓRICO DE PROBLEMAS ENCONTRADOS

Para posteriores problemas es conveniente crear un archivo de problemas solucionados con el objetivo de evitar repetirlos en el futuro.

Se debe tratar de detallar al máximo posible tanto la descripción del problema como la causa raíz. Esto es muy importante, para que personas que no hayan tomado parte del análisis del problema original, dispongan de tanta información como sea posible para la resolución del problema actual y facilite al máximo posible el trabajo en el futuro.

Es fundamental registrar tanto los problemas que se han solucionado como los que no y todas las medidas tomadas, sean acertadas o no, para no volver a tomar acciones que en su día no surtieron efecto.

En resumen, cada ficha debe contar con los siguientes parámetros:

- Descripción del problema: Aquí se debe definir el problema dando el mayor número de detalles posible: zona, magnitud, número de piezas o lotes afectados, gravedad del problema, así como cualquier dato que se considere relevante.
- Causa raíz del problema: En este apartado se incluirán todas las posibles causas analizadas y el por qué se han desechado o tomado como causa raíz. Explicar por qué se han descartado o aceptado las posibles causas como causa raíz, puede ayudar en el futuro a encontrar fallos cometidos en anteriores intentos de solucionar un problema que se sigue repitiendo después de haber implementado las acciones correctoras.
- Acciones tomadas: Se deben incluir todas las acciones que se han tomado. Aquí vuelve a ser importante explicar, por qué se ha tomado una u otra acción. Se puede dar el caso que, aunque se haya dado con la causa raíz del problema, las

acciones tomadas para resolverlas no sean adecuadas y el problema siga persistiendo o incluso se agrave en el peor de los casos. También resulta interesante tener recogidos los efectos que han producido cada acción tomada en la producción de las piezas y en qué medida se ha atenuado o solucionado el problema

Cuando este archivo esté creado y tenga recogido un número suficiente de problemas, el primer paso a realizar en el análisis de cualquier problema será consultarlo, estudiar los casos similares y tomarlos en cuenta para el nuevo análisis que se efectúe.

## 4 APLICACIÓN PRÁCTICA. EL CASO DE AIRBUS OPERACIONES

Después de explicar los conceptos teóricos y la forma de trabajar, en este capítulo se muestra la aplicación en el caso de Airbus Operaciones.

### 4.1 CONSIDERACIONES INICIALES

Para terminar de comprender todo lo realizado en el proyecto es necesario tener en cuenta una serie de circunstancias que hacen diferente la implementación de un proyecto de estas características en una empresa del sector aeronáutico con respecto a una empresa de otro sector.

#### 4.1.1 Introducción a la empresa

El proyecto se ha desarrollado en la empresa del sector aeronáutico AIRBUS Operaciones. Los resultados están centrados en la planta de Getafe en la que se fabrican componentes del empenaje de las tres principales familias de aviones de la compañía. A continuación se explica de manera resumida la evolución de la empresa, la organización y los productos fabricados.

#### *Historia*

En Septiembre de 1967, los gobiernos de Reino Unido, Alemania y Francia firmaron un memorándum de entendimiento para el desarrollo de un avión de 300 plazas. Este sería el segundo proyecto conjunto de avión en Europa, tras el Concorde. En los meses siguientes surgieron dudas por parte de los gobiernos británico y francés sobre la viabilidad del proyecto, y hubo que modificarlo para que pudiera usar motores ya desarrollados y reducir así los costes.

En 1969 el gobierno británico retiró su apoyo al programa. Dada la participación de Hawker Siddeley, la empresa seleccionada por el gobierno británico que sin su apoyo financiero no podía continuar en el desarrollo del ala, los franceses y alemanes se vieron incapaces de continuar en solitario. Finalmente la compañía británica consiguió seguir siendo un contratista gracias al apoyo financiero alemán.

El consorcio fue creado en 1970 por las compañías francesa Aerospatiale y alemana Deutsche Aerospace como fabricante europeo de aviones. En 1971 la empresa española CASA (Construcciones Aeronáuticas S.A.) se incorporó al consorcio, y en 1979 lo hizo la inglesa British Aerospace. Desde el principio el consorcio se fijó como objetivo competir con el principal fabricante de aviones del mundo, la compañía estadounidense Boeing, que en aquella época iba adquiriendo una posición cada vez más dominante en el sector de la aviación civil.

Tras la fusión de Aerospatiale, CASA y Deutsche Aerospace para crear EADS, (European Aeronautic, Defence and Space Company), esta última pasó a controlar el 80% de Airbus, quedando el 20% restante en manos de BAE Systems PLC (British Aerospace), siendo este porcentaje adquirido en 2006 por EADS, de modo que ésta controla actualmente el 100% de la compañía. El primer ejemplar del A-300 fue matriculado como F-BVGI en la compañía Air France.

Hasta la fecha Airbus ha entregado 6581 aeronaves y tiene en marcha 6283 aviones más pendientes de entregar. En el último año ha facturado más de 45.800 millones de euros consiguiendo alrededor de 1.230 millones de euros de beneficio operacional.

---

### *Familia de productos*

- Familia A320

El Airbus A320 es el avión más vendido del mundo. Por sus dimensiones y características está destinado a trayectos de corta y media distancia. Cuenta con una capacidad de unos 150 pasajeros en su configuración típica y un alcance de 5900 km. Alcanza una velocidad máxima de 871 km/h siendo su velocidad de crucero de 820 km/h a una altura de 11.000 m.

Fue el primer avión civil en incorporar la tecnología fly-by-wire que se encarga de gestionar el funcionamiento de las superficies de vuelo y la dirección eléctricamente, sustituyendo a los cables y tensores con los que funcionaban anteriormente y en incorporar materiales compuestos en el cono de cola y los flaps. También es el avión con la cabina más ancha dentro de los aviones de pasillo único. Son los aviones con menor coste de operación y con un valor residual más alto después de finalizar su ciclo de vida.



Figura 6 Familia A320

- Familia A340

Destinada a vuelos de largo alcance, los aviones de la familia A340 se encuadran dentro de la categoría de doble pasillo. Cuentan con una capacidad que varía de los 300 hasta los 400 pasajeros y una autonomía que puede rondar los 16.000 km dependiendo de la versión alcanzando los 900 km/h como velocidad crucero. Es usado en las rutas más largas ya que es el avión con menores costes operativos por pasajero y kilómetro recorrido. Siguiendo con la tendencia de la compañía, el A340 fue el avión civil con mayor número de componentes de material compuesto.



Figura 7 AIRBUS A340-600

- A350 XWB

Es considerado como el avión más moderno del mundo. Es un avión de largo alcance (15.000 km) que puede albergar entre 300 y 400 pasajeros dependiendo de la versión y la configuración. Está compuesto por un 50% de materiales compuestos, lo que le convierte en el avión con más cantidad de estos materiales hasta la fecha construido. La sección 19 de este avión se construye de una sola pieza, lo que constituye un gran reto para su fabricación

debido a su complejidad geométrica. Alcanza una velocidad de crucero de 900 km/h .

Posee un diseño muy aerodinámico, lo que mejora su eficiencia, eleva su velocidad y por tanto reduce mucho sus costes operativos.



Figura 8 AIRBUS A350 XWB

- A380

Es el avión de pasajeros más grande del mundo. Destaca por su cabina de doble piso, con una capacidad de hasta 850 pasajeros como respuesta a la creciente demanda de pasajeros. Posee 4 motores de los cuales solo los de los extremos poseen reversa. Tiene un alcance de hasta 16.000 km lo que le convierte en una opción para vuelos de largo alcance. Viaja a una velocidad crucero de 900 km/h. Está compuesto por un 25% de componentes de materiales compuestos, de los que la mayoría componen la estructura del avión.





Figura 9 AIRBUS A380

- A300-600 Beluga

Este avión parte del extinto A300-600, al que se le realizaron diversas modificaciones para permitirle transportar hasta 47 toneladas. Puede transportar la carga máxima a una distancia de hasta 3.000 km alcanzando más de 1.000 km/h. En su bodega, a la cual se accede desde la parte superior de la cabina del piloto, se transportan componentes terminados entre las diferentes plantas de Airbus y las FAL en las que se terminan las aeronaves. Entre estos componentes se encuentran los HTP (Horizontal Tail Plane) completos del A320 y del A340 o las secciones 19 y 19.1 ya terminadas del A380.



Figura 10 AIRBUS Beluga

### *Organización interna*

En una reorganización importante, se formaron los centros de excelencia (CoEs) fijados para simplificar y para unificar los procesos del diseño y de la dirección de producción. Cada CoE es responsable de las piezas específicas de los aviones y tiene su propia cadena de toma de decisión. Los CoEs que operan en este momento son:

- TB: Este CoE se encarga de fabricar toda la cabina y fuselaje de los aviones de AIRBUS. Por cabina se entiende tanto la zona de pilotos como la de pasajeros y las bodegas. Este CoE está compuesto por las plantas de Toulouse y Saint-Nazaire en Francia y por las plantas de Bremen y Hamburgo en Alemania, país sobre el que recae la dirección y responsabilidad de este CoE.
- TW: La fabricación de las alas son responsabilidad de este CoE, que en su mayor parte recae en plantas inglesas, que históricamente se han encargado de fabricar estos componentes. Está compuesto por las plantas de Fillton y Broughton en Reino Unido, Saint-Eloi en Francia y una pequeña parte en Bremen.

- TT: Este CoE es especialista en el fuselaje trasero y el empenaje de todos los modelos fabricados por AIRBUS. Está compuesto por 4 plantas: las españolas Getafe, Illescas, Puerto Real y una alemana en Stade. En ellas se fabrican, los estabilizadores horizontales y verticales, las secciones 19 y 19.1 de todos los modelos. También es especialista en materiales compuestos, lo que propicia la fabricación de algún componente más como pueden ser las costillas de las alas del A380.

Por otro lado y de forma independiente están las Líneas de montaje final (FAL de sus siglas en inglés). Después de que se han fabricado todos los componentes y se han montado todos los MCA (Major Constituent Assembly) en cada uno de los CoEs se envían a estas plantas, donde se montan, terminan y entregan al cliente las aeronaves. En este momento existen dos plantas de estas características, una en Hamburgo, a donde llegan los MCAs del A380, se ensamblan y posteriormente el avión vuela a Toulouse donde se le realizan los trabajos finales y donde también se montan los otros modelos de la compañía.

Se estima que hay alrededor de 50.000 trabajadores directos en la compañía de los cuales más de 25.000 se encuentran en las plantas de Toulouse y Hamburgo

El estudio de este proyecto se va a centrar en la planta de Getafe, la cual está dividida en 6 áreas de producción:

- Programa A320 y A340
- Cajones laterales del HTP A380
- Sección 19 y 19.1 A380
- Costillas del Ala A380

- Repuestos de programas antiguos
- Materiales compuestos

*Fuentes:* [www.airbus.com](http://www.airbus.com)

#### 4.1.2 Singularidades a tener en cuenta

El caso de una empresa del sector aeronáutico es un caso que requiere un análisis especial desde el punto de vista de los costes de calidad.

La normativa vigente de aviación civil es muy restrictiva y obliga a una inspección del 100% de los componentes y a una notificación en la documentación adjunta al avión del registro de todos los problemas de calidad que se han encontrado a lo largo del proceso de fabricación del avión en todas y cada una de sus piezas.

Por otro lado, aunque se consideran productos fabricados en serie, los aviones se componen de multitud de elementos diferentes que complican tanto la fabricación como la inspección. En el mejor de los casos se realizan lotes de 40 piezas iguales mensuales con lo que también resulta difícil establecer un proceso de control estadístico de la calidad y dificulta la introducción de procesos automatizados en la fabricación.

Debido a estas singularidades, la reducción de los costes de calidad se antoja muy complicada, ya que no se puede reducir el número de inspecciones ni realizarlas de un modo menos manual, por lo que el estudio se centra en la otra parte de estos costes, los de no calidad.

## 4.2 ESTADO INICIAL

Este proyecto se ha lanzado simultáneamente en las todas las plantas de AIRBUS. Este documento se ha centrado en los resultados de la planta de Getafe, por simplicidad se va a omitir de aquí en adelante que todos los resultados son referentes a la planta de Getafe.

Esta planta está dividida seis en áreas, las cuales son las que se han utilizado a la hora de realizar el estudio de los costes. Estas áreas son:

- TTG1: Programa A320 y A340
- TTG2: Cajones laterales del HTP A380
- TTG3: Sección 19 y 19.1 A380
- TTG4: Costillas del Ala A380
- TTG5: Repuestos de programas antiguos
- TTG6: Materiales compuestos

Para evaluar el estado inicial de la empresa, se han implementado una serie de macros en Excel con las cuales después de exportar los datos almacenados en SAP, procesan la información y permiten generar los informes que se muestran a continuación.

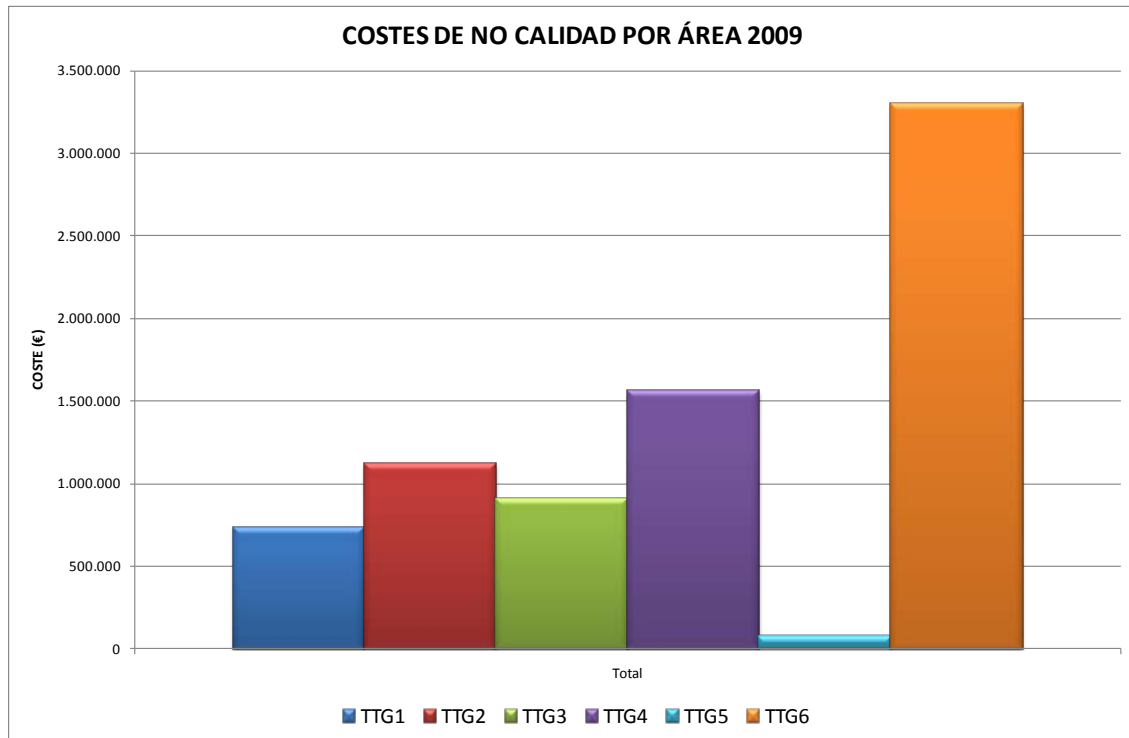


Figura 11 Coste de no calidad por área en 2009

En el área de materiales compuestos (TTG6) es donde se producen unos costes de no calidad más elevados (3.250.000 € aproximadamente). Para averiguar dónde se producen estos costes, se debe indagar un poco más en el origen de los mismos.

El siguiente paso, es ver el tipo de no conformidad que hay por cada área. Las no conformidades están divididas en tres tipos. Las que producen una inutilidad (scrap), las que generan un retrabajo (rework) y las no conformidades que se dan por aceptables como están (QN) que, como ya se explicó en apartados anteriores, no tendrán costes cero porque tienen un coste administrativo asociado.

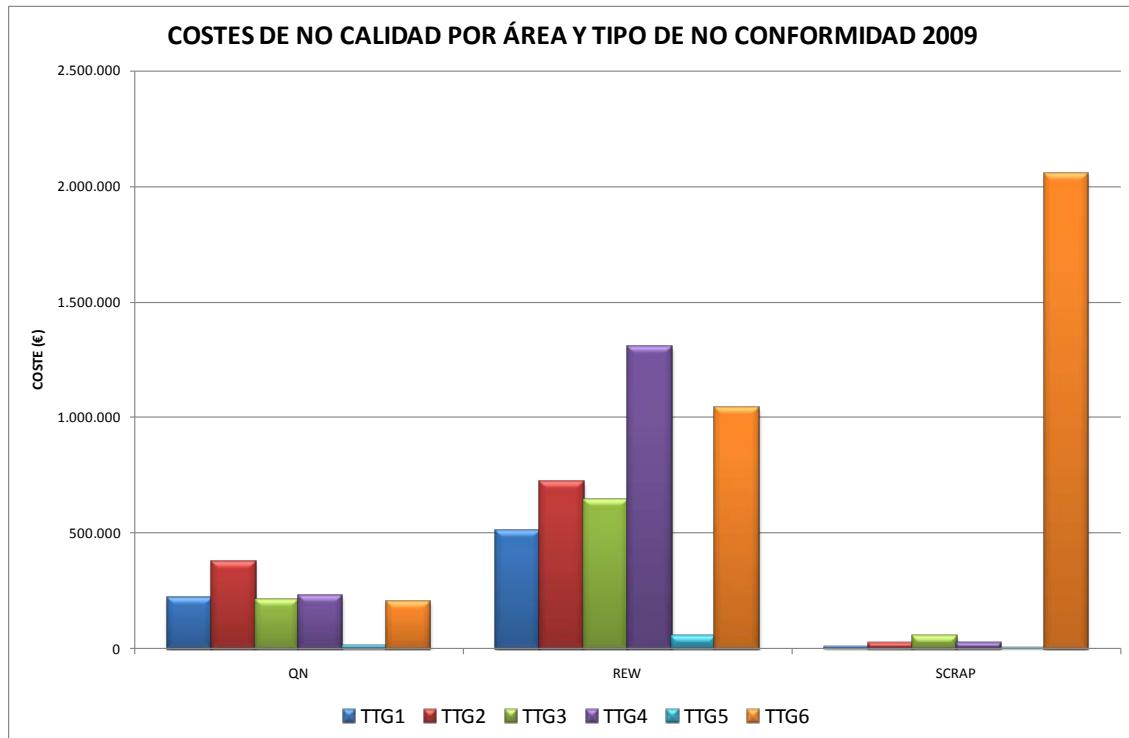


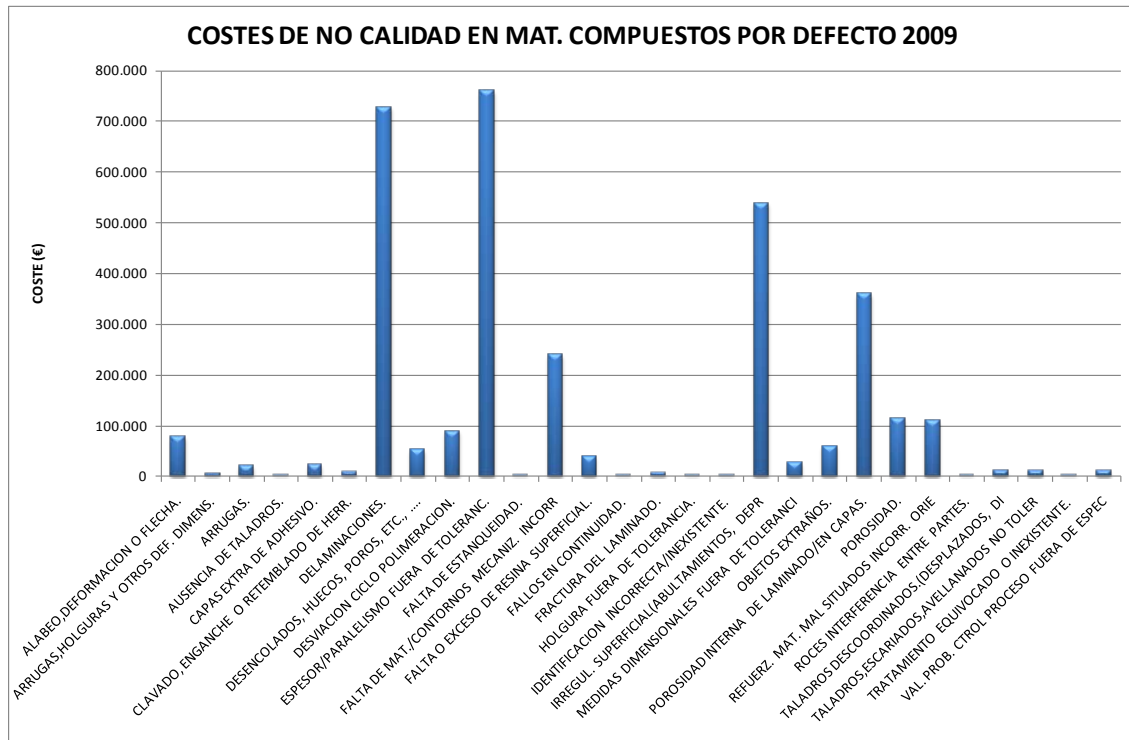
Figura 12 Coste de no calidad por área y tipo de no conformidad en 2009

De aquí se deduce que la mayor parte de los costes son producidos por las inutilidades que se generan en el área de materiales compuestos.

Después de analizar estos paretos se tomó la decisión de lanzar el proyecto de forma piloto en el área de materiales compuestos por las siguientes razones:

- Costes del área, se producen muchas inutilidades las cuales además generan una gran cantidad de residuos.
- Es el único área en el que realmente se fabrican piezas, en el resto solo se montan conjuntos a partir de subconjuntos fabricados en el área de materiales compuestos o comprados a subcontratistas.

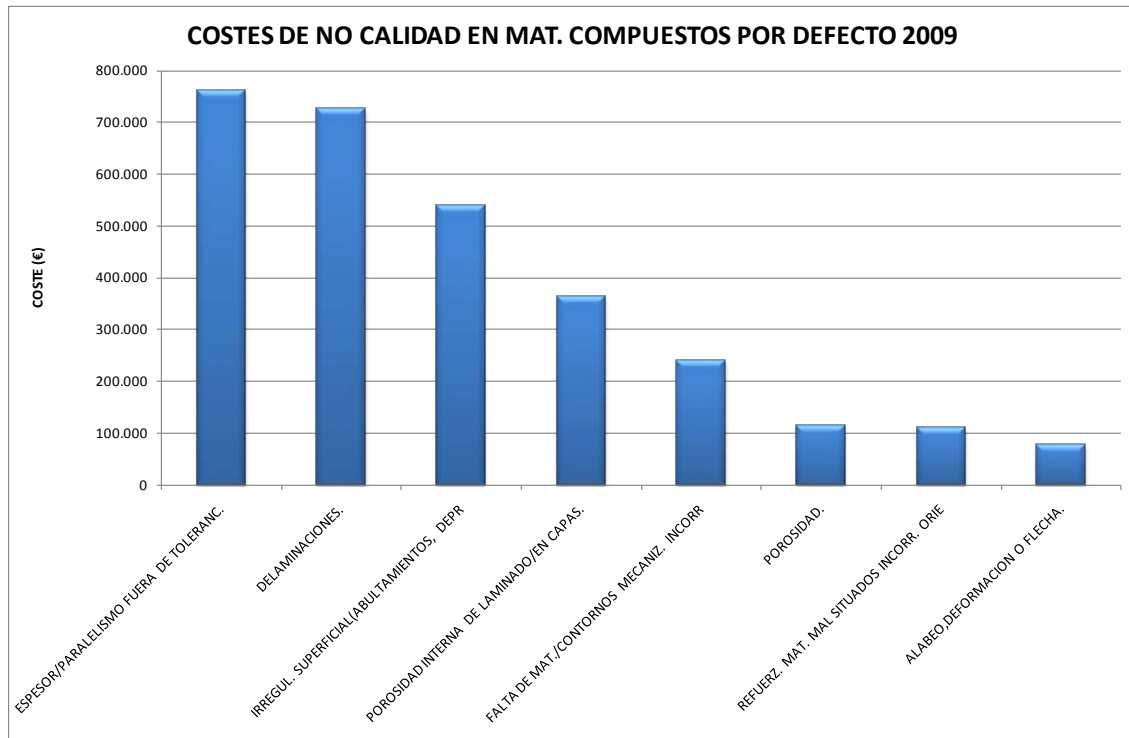
Una vez tomada la decisión de lanzar el proyecto en el área de materiales compuestos, el siguiente paso es analizar qué defectos producen más coste.



**Figura 13 Costes de no calidad en materiales compuestos por defecto en 2009**

El gráfico muestra principalmente 8 tipos de defectos que suponen casi todo el coste. Para tener una imagen más clara, se van a eliminar del gráfico los defectos menos relevantes.





**Figura 14 Costes de no calidad para los defectos más importantes 2009**

Teniendo identificados ya los defectos más importantes, solo sería necesario un paso más para empezar ya a trabajar en la identificación de las causas raíz. Este paso es la identificación de las piezas afectadas por defecto y por paquetes. En este caso, influye la experiencia de las personas que realizan el análisis, ya que deben decidir qué conjunto de piezas tienen un proceso de producción similar y se pueden agrupar, para darle una solución común al defecto. Al final de este proceso obtenemos una lista de defectos, la cual se muestra a continuación:

Tabla 3 Lista de problemas detectados

PROBLEMA
BA - Acumulación de Resina en dines y bordones
BA - Marcas de útiles
BA - Porosidades en el chaflán
BA- Delaminaciones en radios
BA- Porosidades
BABR - Espesores
BR- Delaminaciones
BR- Espesor en zona del diapasón
BR- Problemas de Flecha
BR- Problemas de porosidades
Cuaderna 96 Lower - Acumulación de resina
Cuaderna S19.1 - Porosidades
Cuadernas S19 - Marcas de Útiles
Cuadernas S19 - Problemas Porosidades
Cuadernas S19- Problemas Rowing
Cuadernas S19.1- Problemas de Acumulaciones de Resina
Cuadernas S19.1- Problemas de Deformaciones
Cuadernas S19.1- Problemas de Delaminaciones
Cuadernas S19.1- Problemas de Escalones
Cuadernas S19.1- Problemas de Espesores
Todos- Elaboración de Kits
Todos- Falta de Material
Todos- Manipulación y almacenaje
Todos- Posicionamiento Fibra de Vidrio
Todos- Problemas de Identificación piezas especiales
Todos- Registro de ciclos
Todos- Rotura de Mangueras

### 4.3 RECOGIDA DE DATOS.

Con los defectos identificados en el aparatado anterior, se puede proceder a recoger toda la información disponible para cada uno de los defectos a analizar.

Un primer paso es extraer de SAP todos los avisos de calidad generados referentes a cada defecto, ya que en estos se detalla mucho más cuál es el problema y la zona en la que ha surgido. A modo de ejemplo se muestran algún aviso con toda la información que contiene:

DEF Nº		TIPO	PROFUNDIDAD	TAMAÑO	MÉTODO	OBSERVACIONES
U1		P	—	70 x 8	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> A-SCAN INSP. VISUAL </div> <div> C-SCAN RAYOS X </div> </div>	Atenuación transmisión: 12-18 dB: 30% 18-24 dB: 30% 24-30 dB: 20% 30-36 dB: 20%
					<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> A-SCAN INSP. VISUAL </div> <div> C-SCAN RAYOS X </div> </div>	
					<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> A-SCAN INSP. VISUAL </div> <div> C-SCAN RAYOS X </div> </div>	

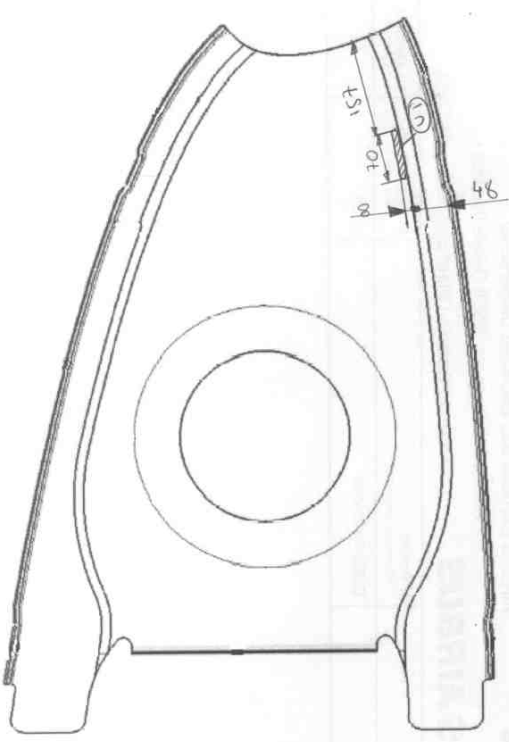


Figura 15 Ejemplo de una HNC de una porosidad en un chaflán de un BA


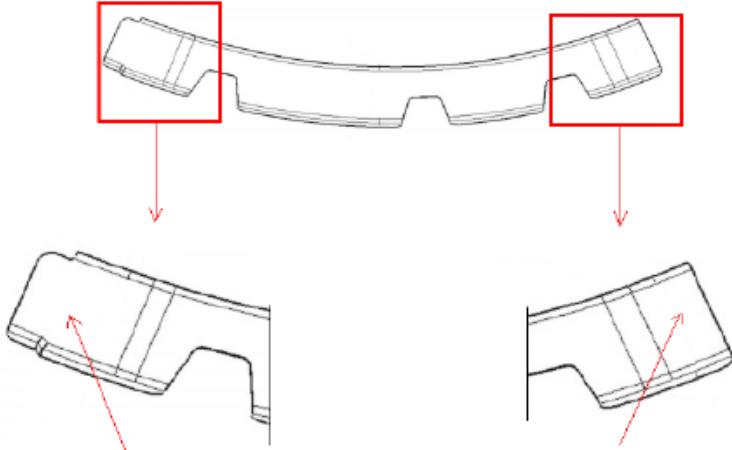
 <b>AIRBUS</b> Composites Getafe		<b>HOJA DE NO CONFORMIDADES (Continuación)</b> <b>NON CONFORMANCE SHEET (Continuation)</b>	
		HNC 1000034211	Página de Page of
		<b>L524-63331-004</b>	REFERENCIA / REFERENCE <b>1443788</b>
N.C. Nº	DESCRIPCIÓN / DISPOSICIÓN DESCRIPTION / DISPOSITION		
<p style="text-align: center;"><b>REFUERZOS MAL SITUADOS</b></p>  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>ESPEJOR TH 2.4</b> <b>ESPEJOR REAL 2.7/ 2.8</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>ESPEJOR TH 2.7</b> <b>ESPEJOR REAL 2.4/ 2.5</b></p> </div> </div>			
FIRMA RESPONSABLE DISPOSICIÓN DISPOSITION RESPONSIBLE SIGNATURE			

Figura 16 Empleo HNC para un problema de fibra de vidrio

En estas hojas se detallan los defectos. Se utiliza un croquis de la pieza afectada para posicionar y acotar los defectos hallados y dar toda la información que sea necesaria. Posteriormente se da una solución del defecto y en función de esta (reparar, declarar inútil o dar por aceptable) se calcula el coste de no calidad asociado al defecto. No hay que confundir dar una solución al defecto con solucionar el problema que causa el defecto. En el primer caso, ingeniería e I+D estudian caso por caso las piezas y deciden la forma de proceder. El segundo caso, solucionar el problema que causa el defecto, es en el que se centra este proyecto y conlleva todo el estudio que aquí se muestra.

Después de extraer toda la información del sistema y analizarla, se llega a una tabla como la siguiente:

Tabla 4 Estimación de los costes de no calidad para los defectos detectados

PROBLEM DESCRIPTION	DISTURBANCE COST (€)	Número problemas 2009	CNQ 2009 (€)	Número problemas 2010	CNQ 2010 (hasta septiembre) (€)	Observaciones
Cuadernas S19 - Problemas Porosidades	3.049,00 €	38	42.157,27 €	103	112.137,00 €	
Todos- Rotura de Mangueras	3.304,00 €					
Cuadernas S19.1- Problemas de Espesores	434,70 €			212	151.215,00 €	
BA- Porosidades	2.404,00 €					
Cuadernas S19.1- Problemas de Delaminaciones	3.199,00 €			5	7.747,00 €	
Cuaderna S19.1 - Porosidades	3.339,00 €			41	71.768,00 €	
Cuadernas S19.1- Problemas de Acumulaciones de Resina	210,00 €			42	43.746,00 €	
BA- Delaminaciones en radios	2.404,00 €	18	31.180,06 €	3	2.758,00 €	
BR- Espesor en zona del diapason	3.477,50 €	144	121.883,00 €	115	72.983,00 €	
BR- Problemas de porosidades	3.386,50 €			17	42.664,00 €	
Cuadernas S19- Problemas Rowing	3.339,00 €				26.000,00 €	
Todos- Posicionamiento Fibra de Vidrio	210,00 €	456	62.650,00 €	54	6.655,00 €	57.000€ Reparaciones cosméticas + 5650€HNC
Cuadernas S19.1- Problemas de Deformaciones	560,00 €					
Todos- Manipulación y almacenaje	49,00 €					
Cuadernas S19.1- Problemas de Escalones	154,00 €					
BR- Delaminaciones	3.299,00 €	13	22.247,67 €	17	33.815,00 €	
Todos- Elaboración de Kits	11,67 €					
Todos- Registro de ciclos	11,67 €		- €		- €	
BR- Problemas de Flecha	52,50 €					
Todos- Problemas de identificación piezas especiales	- €					
Cuadernas S19 - Marcas de Útiles						
Todos- Falta de Material						
Cuaderna 96 Lower - Acumulación de resina			- €	3	8.743,00 €	
BA - Porosidades en el chafán			- €	8	15.505,00 €	
BA - Acumulación de Resina en dines y bordones		54	26.585,00 €	96	47.067,49 €	
BA - Marcas de útiles		173	56.000,00 €			
BABR - Espesores					142.037,10 €	
<b>TOTAL</b>			<b>362.703,00 €</b>		<b>642.803,49 €</b>	
<b>TOTAL/MES</b>			<b>30.225,25 €</b>		<b>128.560,70 €</b>	

En dicha tabla deben aparecer todos los defectos encontrados en la primera fase, con sus costes correspondientes los cuales se utilizarán en la siguiente fase del proyecto.

#### **4.4 FORMACIÓN DE LOS GRUPOS Y ACCIONES TOMADAS**

Una vez realizado el estudio por parte del personal de calidad llega el momento de formar los grupos de trabajo para abordar los defectos y encontrar su solución. Para ello se realizan unas primeras reuniones de análisis en las que es necesaria la participación de todos los departamentos implicados, directa o indirectamente, en la fabricación de las piezas (producción, planificación, ingeniería, calidad, utillaje, I+D...). Durante estas reuniones se intentará estudiar de forma superficial todos los defectos con el objetivo de priorizarlos y ver qué departamentos son necesarios en cada caso para trabajar en cada defecto.

Uno de los primeros pasos explicados en el capítulo 3 de este documento es la creación de una matriz de priorización para los defectos. En ella se exponen todos los problemas identificados para el análisis y se cuantifican una serie de parámetros que indican qué problemas se han de analizar primero.

Los diferentes problemas han sido ponderados, obteniendo cada uno un coeficiente que, multiplicado por los costes de no calidad de cada defecto, da como resultado un valor que nos indica de manera orientativa qué problemas son más importantes y, por tanto, se deben atacar en primer lugar. Estos resultados son orientativos, luego queda a potestad del grupo decidir el orden definitivo de los defectos.

Para evitar trabajar con números excesivamente grandes, los costes de no calidad están expresados de forma relativa en base 10. Cada valor se encuentra dividido entre el valor máximo y multiplicado por 10, es decir, el problema que más coste ha



originado a la empresa toma el valor 10, y a partir de ahí, el resto de valores son proporcionales a él.

El resultado de este análisis es la siguiente Master List:



Tabla 5 Master List de defectos

PPS MASTER LIST															
PROBLEM DETAILS					PRIORITISATION										
N°	DATE	STATION	RAISED BY	PROBLEM DESCRIPTION	Tipo Def.	DISTURBANCE HOURS	DISTURBANCE COST (€)	POBERACIÓN Def.	SEVERITY (TECHNICAL)	OCCURENCE	CUSTOMER IMPACT	DETECTION %	FEASIBILITY	TOTAL	TOTAL * PONDERACION CNQ
15	07/04/2010	RTM		Cuadernas S19-1- Problemas Porosidades	A	6,21	3049,00	8,77	9	3	9	1	3	729	6392
16	07/04/2010	RTM		Todos- Rotura de Mangueras	O	0,00	3304,00	9,50	9	1	1	9	6	486	4618
9	07/04/2010	RTM		Cuadernas S19-1- Problemas de Espesores	A	6,21	434,70	1,25	6	9	9	1	3	1458	1823
6	07/04/2010	RTM		BA- Porosidades	A	2,20	2404,00	6,91	9	3	1	1	6	162	1120
13	07/04/2010	RTM		Cuadernas S19-1- Problemas de Delaminaciones	A	0,70	3199,00	9,20	9	3	1	1	6	162	1490
8	07/04/2010	RTM		Cuaderna S19- Porosidades	A	2,70	3339,00	9,60	9	3	1	1	3	81	778
12	07/04/2010	RTM		Cuadernas S19-1- Problemas de Acumulaciones de Resina	A	3,00	210,00	0,60	6	9	1	1	9	486	293
5	07/04/2010	RTM		BA- Delaminaciones en radios	A	2,20	2404,00	6,91	9	6	1	1	9	486	3360
2	07/04/2010	RTM		BR- Espesor en zona del diapasón	A	3,25	3477,50	10,00	9	9	3	1	1	243	2430
4	07/04/2010	RTM		BR- Problemas de porosidades	A	1,95	3386,50	9,74	9	6	1	1	6	324	3155
7	07/04/2010	RTM		Cuadernas S19- Problemas Rowing	A	2,70	3339,00	9,60	9	3	1	1	6	162	1555
20	07/04/2010	RTM		Todos- Posicionamiento Fibra de Vidrio	A	3,00	210,00	0,60	6	3	1	1	6	108	65
11	07/04/2010	RTM		Cuadernas S19-1- Problemas de Deformaciones	A	8,00	560,00	1,61	6	6	1	1	1	36	58
19	07/04/2010	RTM		Todos- Manipulación y almacenaje	I	0,70	49,00	0,14	6	1	1	6	9	324	46
10	07/04/2010	RTM		Cuadernas S19-1- Problemas de Escalones	A	2,20	154,00	0,44	3	9	1	1	3	81	36
1	07/04/2010	RTM		BR- Delaminaciones	A	0,70	3299,00	9,49	9	3	1	1	9	243	2305
17	07/04/2010	RTM		Todos- Elaboración de Kits	I	0,17	11,67	0,03	6	6	1	3	3	324	11
18	07/04/2010	RTM		Todos- Registro de ciclos	I	0,17	11,67	0,03	3	9	1	1	9	243	8
3	07/04/2010	RTM		BR- Problemas de Fecha	A	0,75	52,50	0,15	1	9	3	1	1	27	4

Los problemas que han resultado más críticos son:

• Cuadernas S19.1- Porosidades	6392
• Rotura de mangueras	4618
• Bordes de ataque (BAs)- Delaminaciones en radios	3360
• Bordes de salida (BRs)- Delaminaciones	3155

Como ejemplo de lo explicado en relación a que estos resultados son orientativos, está el caso de la rotura de mangueras. Cuando se expuso el problema, se decidió investigarlo en primer lugar independientemente del lugar que ocupase en la tabla.

La razón es que las mangueras contienen resina a alta presión y temperatura. La rotura de éstas mangueras provoca que la manguera rota se mueva descontroladamente y proyecte la resina caliente, con el gravísimo riesgo correspondiente para los trabajadores que se encontrasen en la zona. En este ejemplo, se ha antepuesto la seguridad a cualquier otro parámetro.

A modo de resumen se realizaron una serie de carteles presentación de cada uno de los defectos, incluyendo los principales puntos de cada análisis así como los miembros (departamentos) que se han involucrado en la resolución de cada uno de los defectos.

Estos carteles se expusieron en los talleres y cerca de los puestos, para que los trabajadores fuesen conscientes de los problemas que había en la fabricación, y las soluciones que se habían dado a los problemas.

También se añadió el coste que ocasionó cada defecto a la empresa, y se comparó con productos de consumo como pueden ser coches de lujo, para concienciar a los operarios de la importancia de realizar bien su trabajo.




A continuación se resumen los cuatro principales problemas detectados y su proceso de análisis y resolución.

#### **4.4.1 Cuadernas S19.1- Porosidades**

##### *Descripción del problema*

Durante las inspecciones por ultrasonidos se detectan porosidades en las cuadernas de la sección 19.1. Estas porosidades aparecen siempre en la misma zona, como se puede ver en la hoja de no conformidad adjunta.

 <b>Composites Getafe</b>		<b>HOJA DE NO CONFORMIDADES (Continuación)</b> <b>NON CONFORMANCE SHEET (Continuation)</b>	
INFORMADO POR / REPORTED BY D. GARCÍA SERRANO		HNC Nº: 1000038922	Página de Page of
22-2-10		Nº DE ELEMENTO / PART NUMBER T535-84355-001	REFERENCIA / REFERENCE 1557247

DEF N°	TIPO	PROF.	TAMAÑO	MÉTODO	ATENUACIÓN (P.E.)
1	POROSIDAD	—	46 x 13 mm	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>           [A-SCAN]            INSP. VISUAL         </div> <div>           [C-SCAN]            RAYOS X         </div> </div>	18÷24dB→50%; 24÷30dB→30% >30dB→20%
2	POROSIDAD	—	35 x 10 mm	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>           [A-SCAN]            INSP. VISUAL         </div> <div>           [C-SCAN]            RAYOS X         </div> </div>	18÷24dB→60%; 24÷30dB→40% >30dB→%

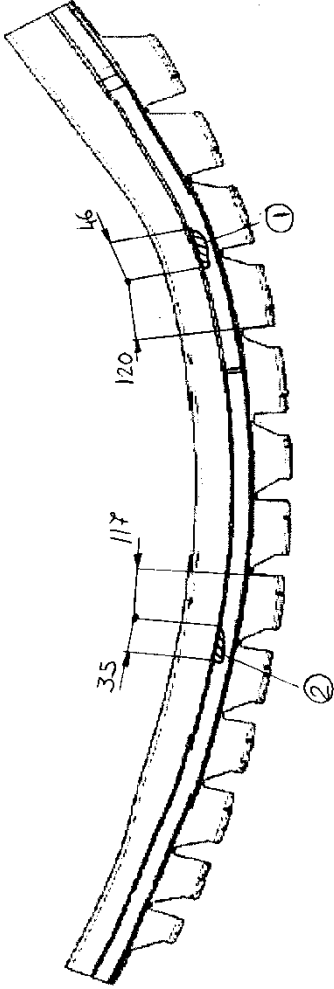
  


Figura 17 Hoja de no conformidad típica para porosidades en las cuerdas de la S19.1

### *Análisis causa raíz*

Las porosidades son debidas a que la resina no alcanza a cubrir por completo todas las zonas del material. En este caso se detectan tres posibles causas para este tipo de defecto. En primer lugar el flujo de resina no está controlado, esta se inyecta a presión desde una bomba, por lo que cuando la presión en el interior del molde alcanza la presión de inyección, se interrumpe el flujo de resina. Esto origina un problema cuando hay zonas de difícil acceso, en las que se necesita una presión más alta para que la resina la cubra por completo.

Un aumento de presión soluciona en parte este problema y es la solución que se ha tomado en otras ocasiones, generando otro problema que se estudiará a continuación, la rotura de mangueras.

Por otro lado también se observa que la formación de arrugas en el material impide el acceso de la resina a dichas partes, este tipo de problemas son generados por deficiencias de diseño en el útil, por lo que se antoja complicada su solución.

A continuación se muestra un formato que se creó para realizar el análisis de causa raíz basado en el método de los 5 por qué:

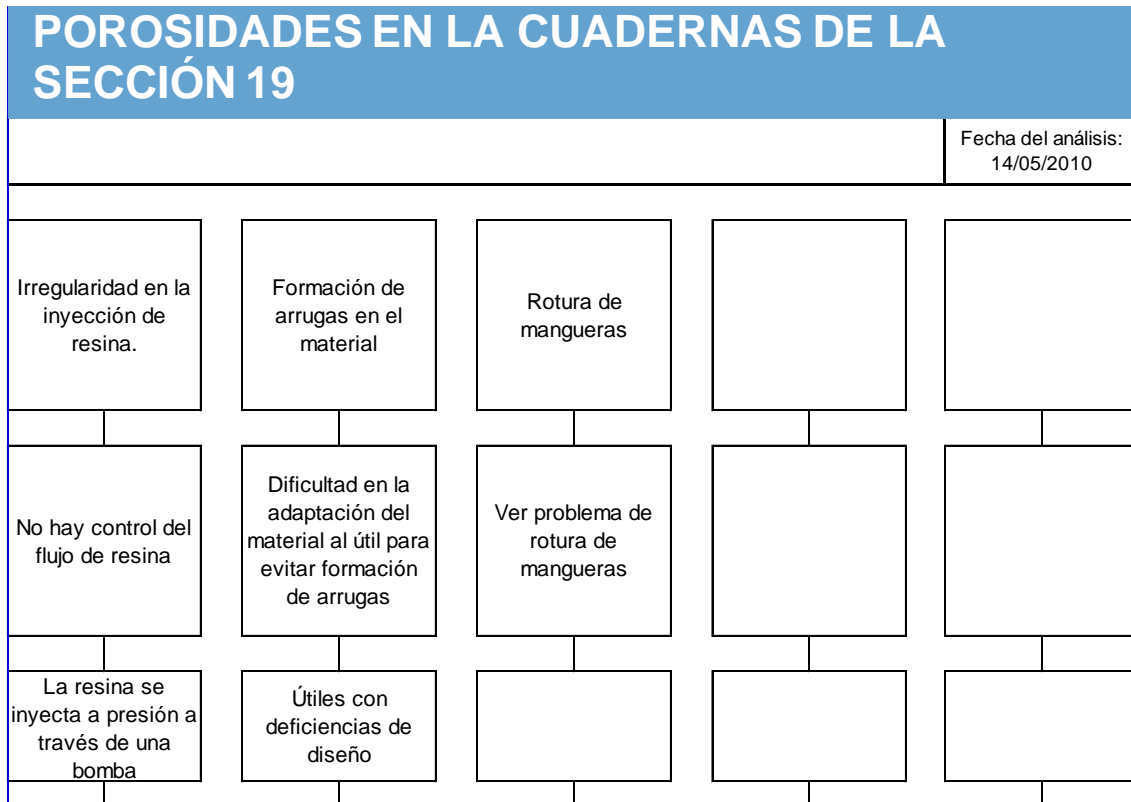


Figura 18 Análisis de causa raíz para porosidades en las cuadernas de la sección 19.1



*Acciones tomadas*

**PROBLEMA: POROSIDAD EN CUADERNAS SECCIÓN 19.1**

**12/11/2010**

<b>Acciones de investigación</b>			
<b>Acción</b>	<b>F Creac</b>	<b>Fcierr</b>	<b>Resultado</b>
Se ha probado a retener resina en cara interna. Traer resultados de la prueba	18/05/2010	Cerrado	Referencia: 1583225. Juan dirá cómo está cuando llegue a verificación
Investigar por qué se rechazó la propuesta de agujerear módulos en zonas concretas para facilitar la evacuación de aire y entrada de resina	18/05/2010	Cerrado	Da problemas de estanquidad, además de deteriorar el útil y acumular mucha resina.
Analizar in situ el proceso de laminado de una de las cuadernas más curvas	18/05/2010	Cerrado	Se descarta la influencia en la porosidad.
Investigar qué pruebas de inyección y de retenedores se han hecho ya	18/05/2010	Cerrado	Retenedores en las cuadernas para disminuir velocidad de la resina. En Enero empezaron pruebas. Recibir referencias. Informe en compartido
Investigar fechas de utilización de nuevos retenedores	20/05/2010	Cerrado	
Ver la posibilidad de inyectar por varios sitios a la vez	26/05/2010	Cerrado	Pruebas en herrajes y costillas no buenas, no se conseguía estanquidad.
Ver la posibilidad de dotar a los útiles con 2 racores para mejorar el sangrado	07/06/2010	Cerrado	No se sangraría nada puesto que la v. de solidificación de la resina es muy grande. Precio útil 1M€
Otra idea sería inyectar	07/06/2010	Cerrado	Prueba que se



sin apretar la tapa.			ha realizado en el BA 8 pero no se ha visto mejoría.
Ver resultados de utilización de los retenedores	07/06/2010	Cerrado	
Ver posibilidad de inyectar sólo pieza a pieza	22/06/2010	Cerrado	Convocar a Joaquin, pero se desecha.

### Acciones mejora

Acción	F Creac	Fcierr	Resultado
Analizar el porqué han salido esas 2 piezas mal (1587981 y 1588045). Hacer cortes en reparaciones y luego hablar con I+D	20/05/2010	Pendiente	24/06/2010 No hay todavía resultados porque no están recanteadas
Listado de coberturas de las cuadernas de la S19.1 para ver cuales tienen mayores problemas TTQC	22/06/2010	Cerrada	
Realizar seguimiento de las piezas fabricadas y realizar un análisis en profundidad TTQC.	24/06/2010	Cerrada	
Ver si la porosidad ocurre siempre en zona donde hay fibra de vidrio. TTQC. (Si se produjese, ver posibilidad de cambio de proceso)	24/06/2010	Cerrada	No hay relación entre la posición de la fibra de vidrio teórica y la porosidad en pieza
Ver qué soluciones se pueden implementar en el resto de cuadernas.	24/06/2010	Cerrada	
Hacer seguimiento de las piezas fabricadas	24/06/2010	En curso	Gestionado con control visual
Ha salido una cuaderna con porosidad en la semana 37, ver dónde y por qué. Ver referencia	09/09/2010	Cerrado	Fue una inutilidad. Porosidad producida por un pie de larguerillo largo



Se ha hecho una modificación al hacer el laminado en bloques, con separadores intermedios. Ver referencia implementación	30/09/2010	Pendiente	
Solicitar informe de resultados de las cuadernas donde se ha metido los retenedores	30/09/2010	Pendiente	Producción no ha traceado las referencias
Lanzar seguimiento visual de las cuadernas	30/09/2010	Pendiente	
Revisar situación actual de la problemática	11/11/2010	Pendiente	

Figura 19 Relación de acciones tomadas para porosidades de cuadernas de sección 19



### *Resumen*

El resultado del estudio se resume en la siguiente figura. En todos los casos, esta información se expuso en el taller para concienciar a los operarios del coste originado por los defectos y explicar la conclusiones sacadas del estudio de cada problema.

Figura 20 Cartel resumen para porosidades de las cuadernas de la sección 19

#### **4.4.2 Rotura de mangueras**

##### *Descripción del problema*

En algunos casos, las mangueras que inyectan resinas en los moldes se parten proyectando resina caliente a grandes distancias, provocando que la resina no cubra todos los puntos del molde y que pueda causar algún accidente grave si hay alguna persona cerca.

Las mangueras se rompen principalmente en las tomas de inyección y en la zona central de la manguera.

##### *Análisis causa raíz*

Para este problema se realizó un análisis mediante el método de los 5 por qué. Durante la recogida de información previa se detectó un aumento muy significativo de roturas desde 2008 que coincidió en el tiempo con un cambio en la producción de las piezas. Este cambio fue un aumento en la presión de inyección para mejorar el acceso de la resina a zonas del molde que presentaban dificultades.



Figura 21 Análisis de causa raíz para rotura de mangueras

Aquí hay dos líneas de acción, volver a las presiones de trabajo iniciales, o rediseñar las mangueras y boquillas. Debido a que el cambio de presiones fue para solucionar un problema de porosidades que se daban en zonas a la que la resina no llegaba bien, se opta por seguir la segunda vía.

### Acciones tomadas

Dada la causa raíz detectada, las acciones van destinadas a cambiar el conjunto de inyección de resinas con el fin de mejorarlo.

PROBLEMA: Rotura de mangueras RTM			22/03/2010
<b>Acciones de investigación</b>			
Acción	F Creac	Fcierr	Resultado
Ver tensiones en la manguera.	22/03/2010	28/03/2010	Las mangueras no soportan las nuevas presiones de trabajo.
Buscar algún material alternativo para las mangueras. Laboratorio I+D	17/05/2010	20/06/2010	Sustituir z12.987 por z12.990
Pedir estudio de nuevas boquillas de inyección. Utillaje	17/05/2010	26/09/2010	Por la disposición de los útiles no se pueden modificar las boquillas.
Buscar nueva forma de conectar las mangueras a las boquillas de inyección	20/09/2010	12/10/2010	Sujetar mediante mordazas manguera y boquilla
<b>Acciones de mejora</b>			
Pedir a compras mangueras del nuevo material	27/06/2010	06/09/2010	Proceso realizado con las nuevas mangueras. No se detectan roturas
Implementar nueva sujeción de boquilla y manguera y realizar pruebas	11/10/2010	04/11/2010	Se evitan los escapes en la zona de conexión.

Figura 22 Relación de acciones tomadas por problema de rotura de mangueras

Como acciones de mejora se propuso un cambio de material para la manguera a fin de solucionar los problemas de roturas en la zona central de la manguera ya que el proveedor no tenía capacidad para producir mangueras de mayor espesor.

Para el problema en la zona de unión, se pidió al departamento de utillaje la posibilidad de modificar el diseño de las boquillas a fin de aumentar la superficie de la unión para hacerla más resistente. El departamento de utillaje desechó realizar modificaciones por el coste que suponía a los útiles. Estas boquillas son parte del útil y para cambiarlas es necesario desechar todo el módulo y fabricar uno nuevo. Se optó por sujetar la manguera y la boquilla mediante mordazas para reforzar la unión.

### *Resumen*

Figura 23 Cartel resumen rotura de mangueras

#### **4.4.3 Delaminaciones en radios de bordes de ataque (BAs)**

##### *Descripción del problema*

Calidad estaba detectando que se estaban produciendo delaminaciones en los radios de redondeo de aristas vivas. Al desmoldar las cuadernas, se originaban estas delaminaciones que en la mayoría de los casos provocaba la inutilización de la pieza, ya que es un defecto muy difícil de reparar y no resulta rentable hacerlo.

##### *Análisis causa raíz*

Partiendo de la descripción del problema, se realizó un estudio mediante al análisis utilizando el método de los 5 por qué en el que se abren varios caminos para diferentes causas.

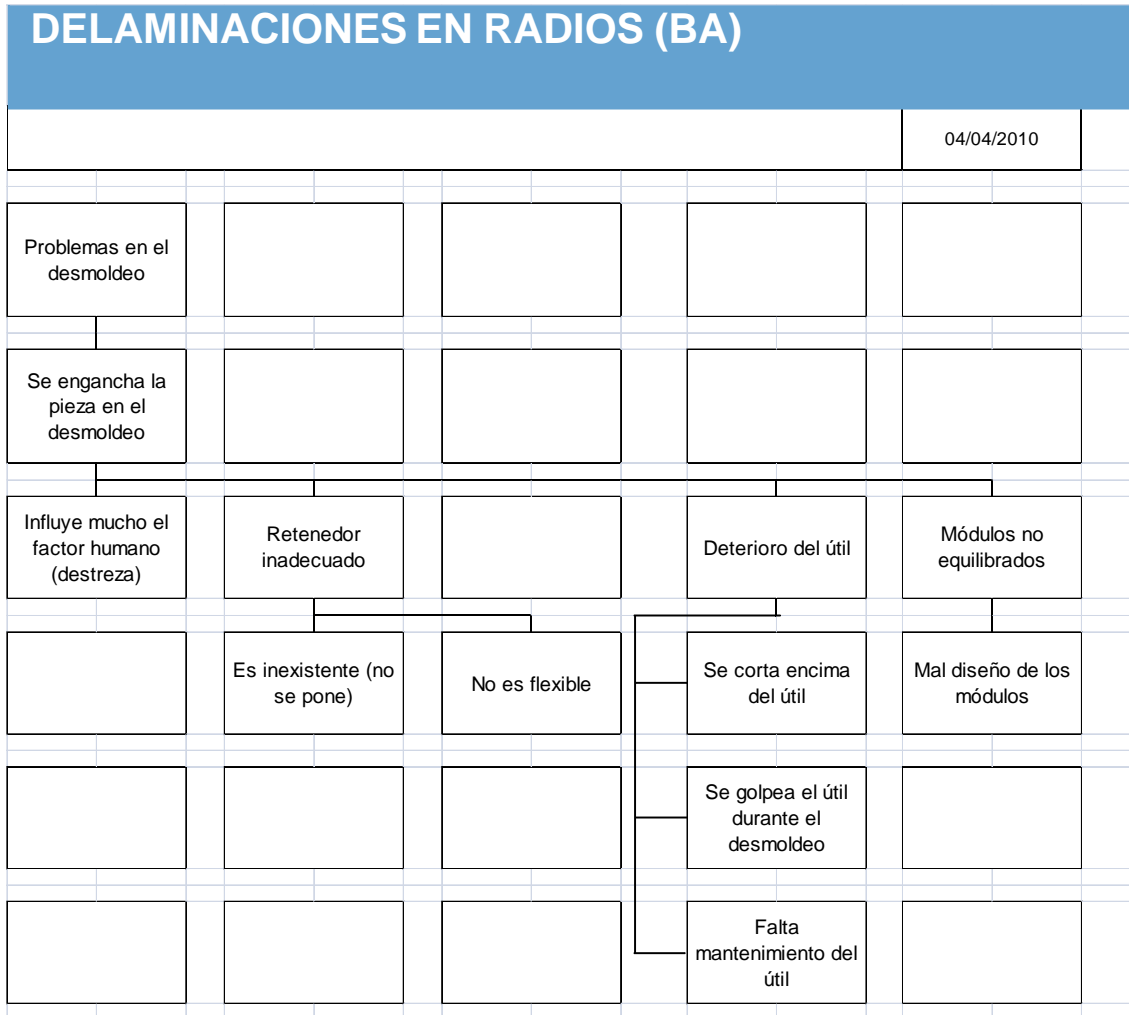


Figura 24 Análisis de causa raíz en delaminaciones en radios de los BA

En este análisis, se puede ver cómo al ir ahondado en las causas se van abriendo distintas posibilidades. La primera de ellas la provoca el error humano. Esta causa siempre se tiende a evitar para este tipo de análisis, pero en un proceso tan manual como este, es inevitable que aparezca. Para conocer el proceso, se presencié como un operario realizaba el desmoldeo de la cuaderna.



Las telas de material compuesto se introducen en un molde compuesto por módulos de acero de dimensiones muy importantes. Posteriormente se le inyecta la resina por las mangueras y las chimeneas de los módulos.

Cuando la resina ha endurecido se procede al desmolde propiamente dicho. El primer problema aparece cuando se observa que diferentes operarios quitan los moldes de forma distinta. En las chimeneas de inyección hay que romper los restos de resina que quedan endurecidos. Esto hay que realizarlo tirando de la cuaderna con una grúa puente al no quedar holgura entre la pared del molde y la pieza. Hay que tirar de forma ordenada para evitar generar tensiones en las piezas e ir rompiendo poco a poco los puntos de inyección con el propio peso del molde. En muchos casos se llega a levantar el molde de la mesa por la resistencia que genera la resina en estos puntos.

Es un proceso en el que hay que tener mucho cuidado y no forzar demasiado la pieza a la hora de tirar, para no producir una rotura descontrolada y dañar la pieza, por lo que es muy fácil que se produzca alguna delaminación en esta fase.

Otra de las causas observadas, fue que los útiles no se encontraban en buen estado, llegaban sucios, o dañados de procesos anteriores debido a golpes, o cortes con cuchilla sobre el útil para eliminar restos de resina, que producen marcas en la superficie que hacen que la resina entre ahí y no tenga buen acabado.

Por último también se observó que había módulos en algunos útiles que por diseño dificultaban el desmolde, ya que su propia geometría hacía que al tirar de ellos, arrastrasen a otros módulos detrás o que los desviase.

### *Acciones tomadas*

Durante el análisis se fueron tomando acciones para averiguar todas las causas raíz del proceso, ya que como se sospechaba en un principio, en este caso había varias causas que originaban los problemas. Se decidió introducir en la fabricación unos retenedores de caucho para evitar que la resina se adhiriese en exceso en los puntos más conflictivos, pero era muy frecuente que los operarios olvidasen colocarlos. Se optó por incluir estos componentes en los kits que se entregan al operario para la producción y se mejoró en este aspecto.

Se creó una secuencia de desmolde más adecuada para que todos los operarios realizasen el proceso de la misma forma y se introdujo en la orden de fabricación como parte del proceso.

Por otro lado, se realizó un estudio para mejora del utillaje, pero el coste era muy alto para realizar cambios en él. Como el problema no sucedía siempre, se tomó la decisión de retener esta vía hasta comprobar los resultados del resto de acciones y los defectos que siguen apareciendo.



PROBLEMA: DELAMINACIONES EN RADIOS DE BA			22/11/2010
Acciones de investigación			
Acción	F Creac	Fcierr	Resultado
Investigar retenedores flexibles (material)	22/11/2010	Pendiente	28/04/2010 Se ha visto que está en proceso pero se va a detallar incluyendo fotos. Pedir los retenedores. <del>Semana 24 reunión informativa.</del> Semana 38 reunión con Asunción Carrascal. Reunión CANCELADA. Próxima reunión el día 4 de Octubre 2010. Se verá material para retenedores, utilización de retenedores rectangulares/cilíndricos macizos y ver qué se utiliza en el A350. <b>Reunión con y proveedor. Sugiere retenedor más flexible. Petición muestras. Lanzamiento de ensayo</b>
Chequear proceso de retenedores	22/04/2010	Cerrada 5/5/2010	Haciendo Kits
Hablar con la gente por qué olvidan los retenedores	22/04/2010	Cerrada 5/5/2010	Error humano
Investigar si se ha recibido petición del taller para módulos	22/04/2010	Cerrada	No hay petición
Investigar si se informa a mantenimiento de utillaje	22/04/2010	Cerrada 5/5/2010	O lo hace producción o la gente de limpieza de útiles
Periodicidad de revisión de utillajes (cada cuánto tiempo)	22/04/2010	Cerrada 5/5/2010	AP3041 no exige rev. Periódicas. Mant preventivo
Investigar casuística de HNCs	22/04/2010	Cerrada 5/5/2010	Mes 12- 2 delaminaciones Mes 2- 2 delam
Hablar con Alfredo Callejo (compras para pedir silicona)	28/04/2010 13/09/2010	Pendiente Cerrada	Pedir Z cuadrada de 7 (Z24296)
Incluir en el proceso la Z con el diámetro especificado	28/04/2010	Cerrada. Sustituida	Se va a incluir en el proceso. Pedir planificación. Gema va a pasar una a la semana.
Probar si los módulos están equilibrados en taller	28/04/2010	Cerrada 5/5/2010	Visto en taller
Hacer seguimiento de los útiles de corte	22/06/2010	Cerrada	Recibir listado de PDUs
Comprobar que el retenedor es el mismo para todas las costillas	10/05/2010	Cerrada 20/5/2010	Igual diámetro, longitud variable.

<b>Acciones mejora</b>			
Acción	F Creac	Fcierr	Resultado
Definir bien proceso en la orden	22/04/2010	Cerrada	Ver secuencia desmoldeo. Cuántas ha analizado y cuántas faltan. Faltan BA1,2y7 y BR3. 22/6/2010 se han pasado 2 BAs.REVISAR
Entrenar a los operarios (ejecución del proceso)	22/04/2010	Cerrada	Chequear cuándo va a tener lugar el curso.
Avisar a mantenimiento de utillaje	22/04/2010	Cerrada 5/5/2010	Se está haciendo bien por producción la limpieza utillaje
Estandarizar el proceso (SOI) de desmoldeo.	22/04/2010	Cerrada 5/5/2010	No aplicable/solo se va a hacer en la orden
Lanzar una prueba de elaboración de kits	05/04/2010	Cerrada 20/05/2010	El riesgo de que se olvide poner el kit es el mismo, pero si se monta, se montan todos los retenedores
Exigir una rev. Periodica de útiles cada 6 meses	05/04/2010	Cerrada 10/5/2010	Sólo costillas y herrajes, no cuadernas
Informar a la gente de limpieza de útiles que tengan especial cuidado con los trazos	05/04/2010	Cerrada 10/5/2010	
Ver si el resto de los operarios ven útiles las nuevas órdenes de desmoldeo	14/06/2010	Cerrada	E incluso se están haciendo mejoras
Poner una persona fija para el mantenimiento de utillaje en	14/06/2010	Cerrada	2 personas fijas para mantenimiento de utillaje
Nuevos útiles de corte de longitud de la faldilla para facilitar el moldeado	27/07/2010	Pendiente recepción	Pendientes recepción 27/10/2010
Incluir en órdenes de producción secuencia de desmoldeo nueva y los retenedores (Z,	13/09/2010	En curso	
Troquelado módulos durante el desmoldeo	05/04/2010	En curso	Se van a lanzar primero BAs y luego BRs, 27/10/2010
Mandar informe de discrepancias de identificación de módulos a Paco Serrano (Utillaje)	21/09/2010	Pendiente	Relacionado con troquelado de módulos (sin numeración, erróneos, etc)
Lanzar kits de retenedores (de momento solo BA)	13/09/2010	Cerrada	Hecho en BAs . Se extenderá a BRs. Oficializado
Incluir material de retenedores en la lista de aprovisionamiento	21/09/2010	Cerrada	
Ver quien se va a ocupar de preparar KITS	21/09/2010	Cerrada	Control de producción
Hacer listado de las piezas (longitud de retenedores)	21/09/2010	En curso	Se va a tratar en la operación de LEAN. Hecho en costillas y faltan herrajes
Hacer seguimiento de utilización de Tooltech en resto de Bas	21/09/2010	En curso	Se ha hecho en uno, el resultado ha sido bueno y se va a extender a todos los BRs y BAs

Figura 25 Relación de acciones tomadas en delaminaciones de BA

## Resumen

El resultado del estudio se resume en la siguiente figura. Como en los casos anteriores, esta información se expuso en el taller.



Figura 26 Cartel resumen delaminaciones en BA

#### **4.4.4 Delaminaciones en bordes de salida (BRs)**

##### *Descripción del problema*

Se producen delaminaciones en las costillas del borde de salida.

##### *Análisis causa raíz*

El proceso de fabricación es muy similar al de las costillas de los bordes de ataque. La secuencia de desmolde es igual, y por lo tanto los problemas asociados se repiten en este caso.

Las delaminaciones se producen por golpes, así que también conviene analizar el proceso de manipulación y transporte. En estas costillas se observa que hay delaminaciones en diferentes zonas producidas por golpes después de enviar las costillas a un subcontratista para que realicen la fase de recanteo. Esta fase consiste en cortar las creces del material para dejar el borde bien acabado. Este proceso se realiza con una recantadora manual. Es una operación complicada ya que, durante el proceso pueden saltar capas del material debido a un exceso de velocidad o un error del operario.

Además al tener que enviarla al subcontratista para esta operación, se producen traslados de las piezas (al almacén, a recepción, al subcontratista, etc.) durante los cuales se producen muchos golpes. Si no están bien protegidas y no se manipulan con cuidado se producen delaminaciones en los bordes y en las zonas golpeadas. Este tipo de delaminaciones son más peligrosas que las anteriores porque pueden ser delaminaciones interiores que se no se ven a simple vista.

En la figura siguiente se puede ver el análisis de las causas raíz realizado para este problema:

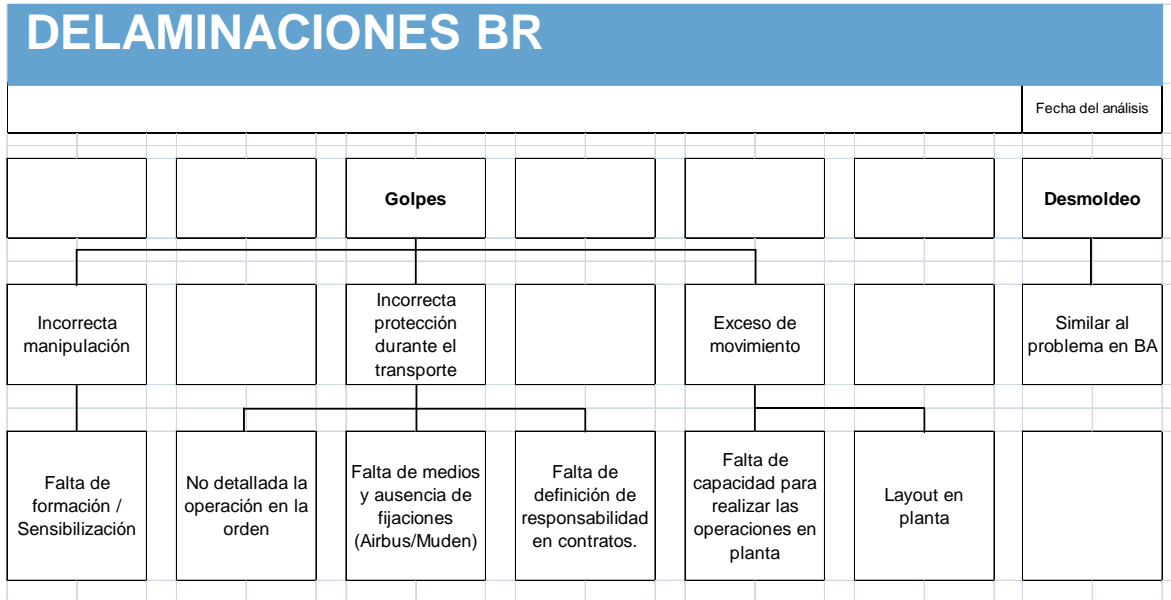


Figura 27 Análisis de causa raíz en BR por delaminaciones

### Acciones tomadas

En este caso, aunque muchas de las acciones son similares al problema anterior, para el resto, también se fueron tomando acciones en paralelo al análisis de la causa raíz. La mayoría de estas acciones son de investigación para poder averiguar las causas raíz del problema.

PROBLEMA: DELAMINACIONES BR			16/12/2010
Acciones de investigación			
Acción	F Creac	Fcierr	Resultado
Investigar la implicación en contratos coyunturales	03/05/2010	Cerrada	No hay nada referente a embalaje
Visitar Mudén para comprobar el proceso de recantado	03/05/2010	Cerrada	Corte al trazo, utilizar plantillas en los CAPs. Trazo en piezas no apreciables, trazo para el corte manual.
Investigar la posibilidad de mejorar la protección en el transporte (cajones, peines, etc)	03/05/2010	Cerrada	Mudén: Vengan todas las piezas con burlete amarillo y burbuja. Se enviarán desde aquí con burbujas. Internamente piezas con plástico de
Investigar la posibilidad de proteger los cantos con burlete	03/05/2010	Cerrada	Las piezas son más gruesas que los
Investigar cómo se incorporaría sufrideras en los útiles	22/11/2010	Pendiente	Lanzadas el 20/09/2010. Pendiente de Isabel.
Pedir útiles para evitar cortar en el útil en la zona de la falsa costilla	22/11/2010	Pendiente	
Traer plantillas del almacén para evitar cortar en el útil	07/06/2010	Cerrada 13/09/2010	Mandar correo para traer las plantillas. Ver si se ha recibido algo. No se ha recibido nada. Tema
Ver si se pueden quitar tornillos para poner pasadores	07/06/2010	Cerrada	Pendiente de implementar por mantenimiento de utillaje
Lanzar Workshop con la gente de Lean, Control de producción para ver cadencia de envíos de piezas	22/06/2010	Cerrada Semana 43	
Ver dimensiones de las cuadernas/Bas y BRs	22/06/2010	Cerrada por sustitucion	Bas y BRs contenedores (1 contenedor/pieza). Cuadernas S19 y 19.1-Contenedor con
Pedir catálogo para ver dimensiones de piezas	22/06/2010	Cerrada	
Ver CNQ por golpes	22/06/2010	Cerrada	3800 € en 2010 (hasta junio)
Definir con Ingeniería plantillas de corte buenas y eficaces.	13/09/2010	Cerrada	



<b>Acciones mejora</b>			
Acción	F Creac	Fcierr	Resultado
Incluir en la orden de producción la protección con plástico de burbujas para el transporte	03/05/2010	Cerrada	Se va a meter ya en las órdenes a medida que se vayan abriendo las modificaciones. Pedir planificación
Útiles que hay que retrasar BA & BR	05/05/2010	Cerrada	Ver procedimiento de retrasados. Los BR ya están retrasados, pero mal retrasados.
Útiles con marca de retrasado. -> Limpiar los útiles	05/05/2010	Cerrada	Comunicado a limpieza de útiles
Probar con Tooltech para mejorar desmoldeo	13/09/2010	Cerrada	Resultados muy buenos, se va a extender también a Bas
Meter en órdenes de secuencia de desmoldeo óptima	22/04/2010	Cerrada Jun10	Después de lanzar el proceso a taller se han delaminado 3 BR
Pedir a Romera el coste de mantenimiento de utillaje	21/09/2010	En progreso	
Lanzamiento de PDUs para cortar sobre PTR	21/09/2010	En progreso	Pendientes utillaje 27/10/2010
Lanzamiento de PDUs para cortar sobre MDPP	21/09/2010	En progreso	Pendientes utillaje 27/10/2010
Medición de dimensiones de Bas y BRs	21/09/2010	Cerrada	Fantan 2 o 3
Ver si han salido delaminaciones en BRs en la semana 38	21/09/2010	Cerrada	No ha salido nada
Ver dimensiones de cajones	21/09/2010	En progreso	Fabricante DINARAX, más barato.
Probar con Tooltech para mejorar desmoldeo	23/11/2010		Implementar en proceso de BRs.

**Figura 28 Relación de acciones tomadas para delaminaciones en los BR**

### Resumen

Como resumen de las acciones más importantes para resolver este problema se tomaron:

- Definir una secuencia de desmolde adecuada, para que todos los operarios trabajen de la misma forma.
- Mejorar el proceso logístico de las piezas: añadir protecciones de espuma en los bordes, mejorar embalajes, etc.

Figura 29 Cartel resumen delaminaciones en bordes de salida

#### 4.5 RESULTADOS POSTERIORES

Los resultados que se van a medir son una comparativa de los resultados para los mismos defectos durante los meses de Enero y Febrero de 2009, 2010 y 2011. La razón para coger solo dos meses es que en el mes diciembre de 2010 se dieron por terminados la mayor parte de los defectos con los que se empezó a trabajar y en Febrero se tomó la primera medida de resultados. Para conseguir que los datos fuesen lo más comparables posibles, se comprobó que era mejor tomar el mismo periodo de tiempo para los 3 años porque variaban mucho los resultados de un mes a otro en función de la producción de ese mes, pero se observaban patrones para los costes.

A continuación se representan los costes de no calidad de 2009 y 2010:

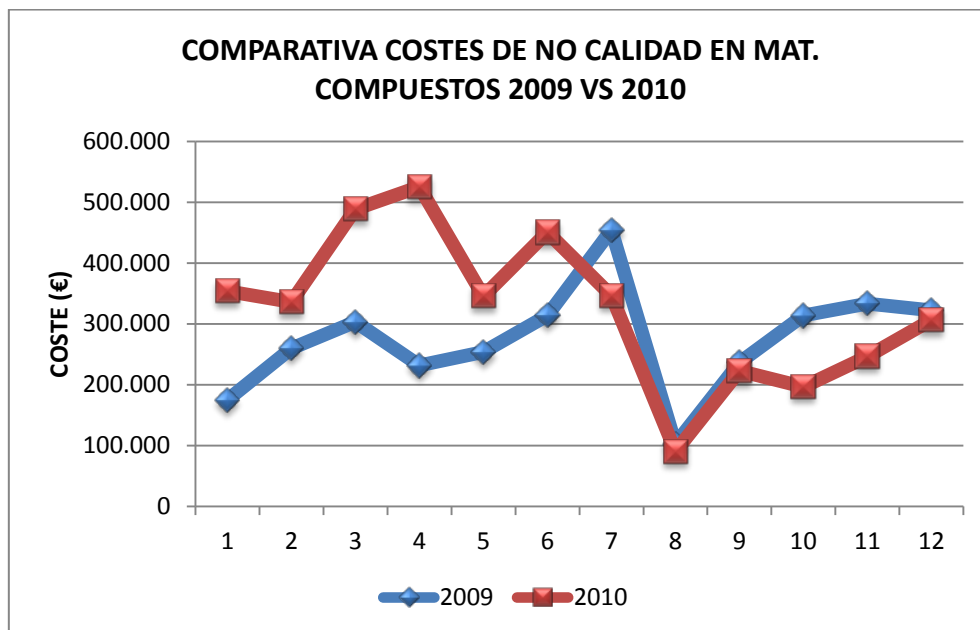


Figura 30 Comparativa de costes 2009 y 2010

Se puede observar una fuerte disminución de los costes de no calidad en los meses de Julio y Agosto debido a las vacaciones de verano, un repunte de los meses de primavera debido a que son meses de con muchos días laborables y también como en función de las vacaciones de semana santa los meses de abril y marzo presentan mayores o menores costes.

En el gráfico se tiene la comparativa de los costes de no calidad para los meses de Enero y Febrero durante los tres años de los que se tienen datos (2009, 2010 y 2011) de los defectos estudiados y destacados en el apartado 4.2.

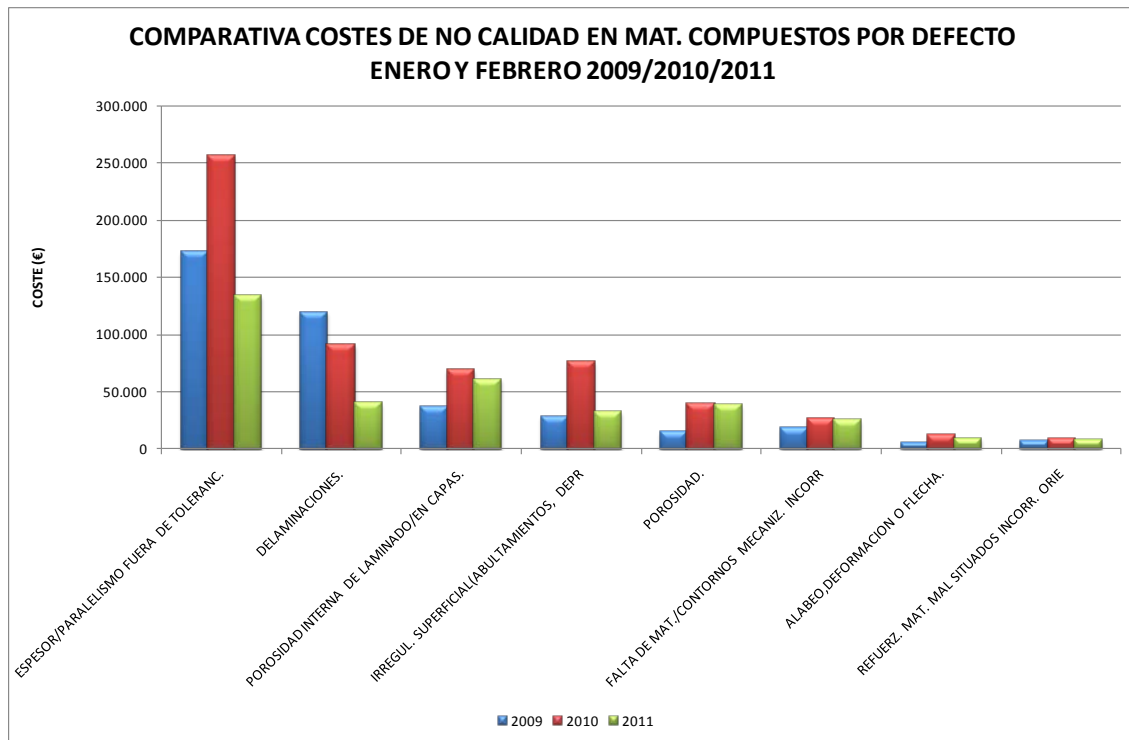


Figura 31 Comparativa de resultados de los meses de Enero y Febrero de 2009,2010 y 2011

Durante los dos primeros meses de 2010 muchos problemas se agravaron con respecto al mismo periodo de 2009, en muchos casos debido a un aumento de la

producción, lo cual no hace más que indicar que era necesario tomar medidas para atenuarlos.

A continuación se muestra un resumen de los datos que generan el gráfico previo:

Tabla 6 Costes de no calidad por defecto

Suma de Cost	Rótulos de columna		
Rótulos de fila	2.009	2.010	2.011
ALABEO, DEFORMACION O FLECHA.	5.354	11.807	9.465
DELAMINACIONES.	119.266	90.562	40.640
ESPESOR/PARALELISMO FUERA DE TOLERANC.	172.037	255.445	133.077
FALTA DE MAT./CONTORNOS MECANIZ. INCORR	17.714	26.505	25.133
IRREGUL. SUPERFICIAL (ABULTAMIENTOS, DEPR	28.265	75.653	31.900
POROSIDAD INTERNA DE LAMINADO/EN CAPAS.	35.845	69.075	60.779
POROSIDAD.	15.527	38.961	38.003
REFUERZ. MAT. MAL SITUADOS INCORR. ORIE	6.557	9.226	7.574
<b>Total general</b>	<b>400.565</b>	<b>577.234</b>	<b>346.571</b>

De estos resultados cabe destacar que se redujo en 230.662€ en los dos primeros meses de 2011 con respecto al mismo periodo del año 2010.

## 5 CONCLUSIONES

La dirección de calidad de Airbus Operaciones llegó a la conclusión de que los costes de no calidad eran demasiado elevados y era fundamental reducirlos para cumplir los objetivos de costes de fabricación marcados por la dirección general de la compañía.

Para tratar de reducir estos costes se lanzó este proyecto, con el cual se pretendía reducir en al menos un 20% los costes de no calidad de cada una de las plantas. El proyecto ha involucrado a todos los departamentos, para tratar de hacer las acciones más efectivas e intentar que todos los esfuerzos para atacar estos costes vayan en la misma dirección y así tratarlos desde todos los puntos de vista al mismo tiempo. De esta forma se pretende evitar repetir los errores del pasado en los que se intentaba por parte de cada departamento lanzar proyectos para reducir la defectología, pero siempre de manera independiente, con los cuales se obtuvieron unos resultados no demasiado satisfactorios.

Para este proyecto se decidió utilizar herramientas básicas de resolución de problemas, como pueden ser los análisis 5 por qué, diagramas de pareto, etc. y a su vez herramientas a medida para el proyecto como las consultas de SAP con las que se obtienen los valores de los costes. De esta forma se consigue que el proyecto sea lo suficientemente universal para poder aplicarlo en todos los ámbitos de la producción y lo suficientemente personalizado para que sea más efectivo.

El objetivo inicial del proyecto es reducir un 20% los costes de no calidad correspondientes a los dos primeros meses del año 2010 en el mismo periodo de 2011. El por qué de la elección de este periodo de tiempo en lugar de compararlo con la media de todo el año o un sexto del total si se trata de dos meses, se muestra en el siguiente gráfico:

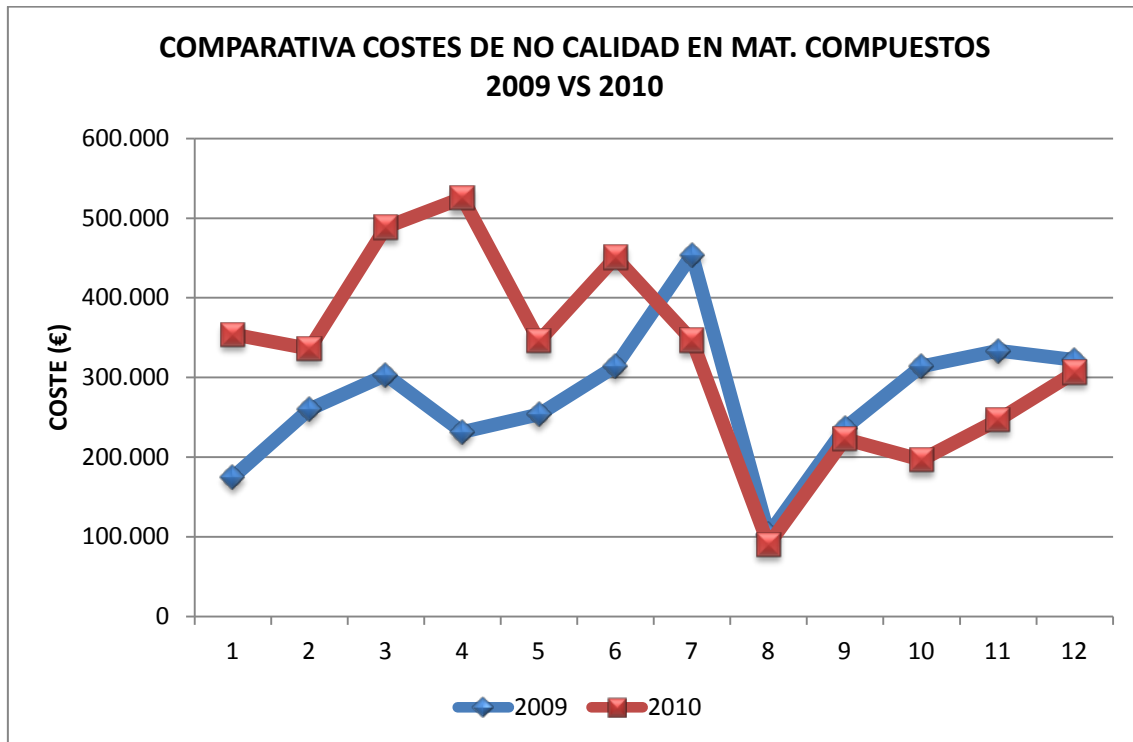


Figura 32 Comparativa de costes 2009-2010 en materiales compuestos

En el gráfico se aprecian patrones en los costes de no calidad en función de la época del año, por ejemplo se aprecia un acusado descenso en los meses de verano o un aumento en los meses de marzo y abril, que se ven influenciados por cuándo tiene lugar las vacaciones de Semana Santa. Por ello para realizar una comparativa significativa, es conveniente comparar siempre los mismos periodos del año y así evitar tener datos erróneos de la evolución de los costes.

Después de desarrollar todo el trabajo, se ha obtenido una gran reducción de los costes para los defectos tratados en los grupos de mejora. En la siguiente figura se muestra la evolución de los costes de no calidad para cada una de las categorías principales de defectos.

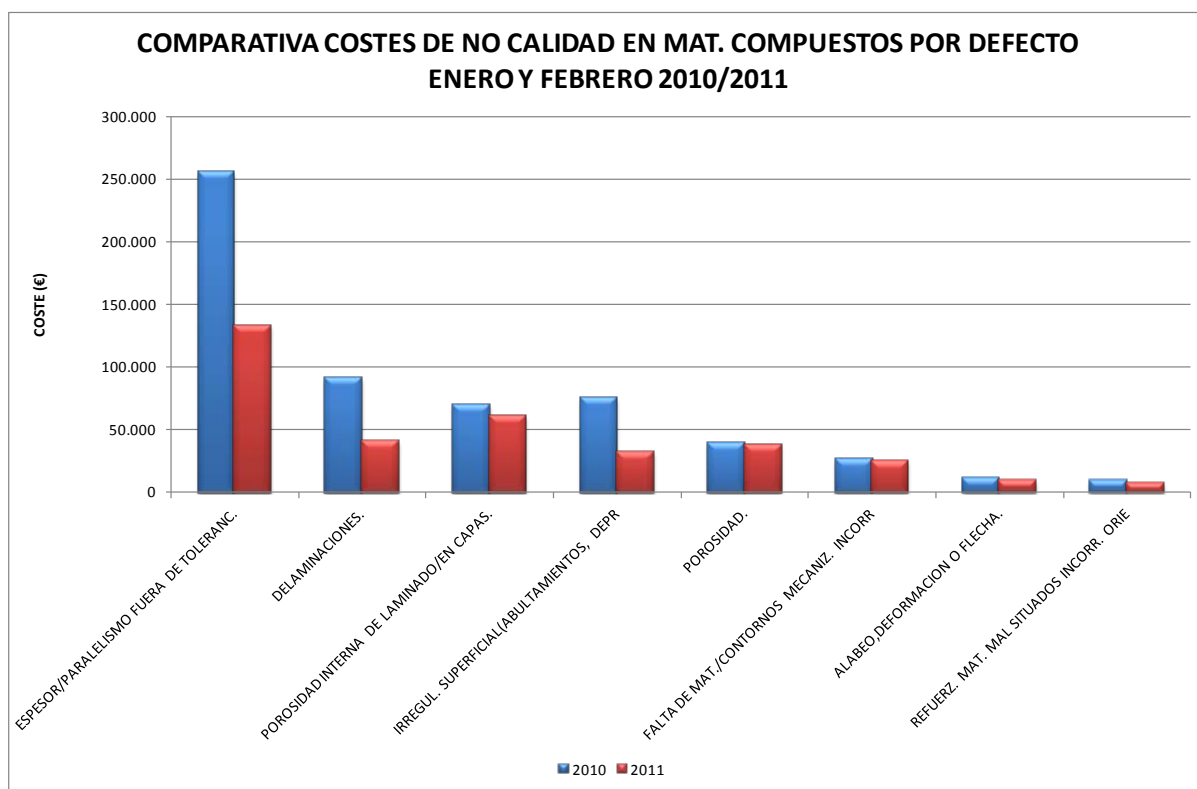


Figura 33 Comparativa costes Enero y Febrero 2010 y 2011 por defecto

Los datos de estos costes aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 7 Costes por defecto 2010 y 2011

	Enero y Febrero 2010	Enero y Febrero 2011	Ahorro	
ESPESOR/PARALELISMO FUERA DE TOLERANC.	255.445 €	133.077 €	122.368 €	48%
DELAMINACIONES.	90.562 €	40.640 €	49.922 €	55%
POROSIDAD INTERNA DE LAMINADO/EN CAPAS.	69.075 €	60.779 €	8.296 €	12%
IRREGUL. SUPERFICIAL (ABULTAMIENTOS, DEPR)	75.653 €	31.900 €	43.753 €	58%
POROSIDAD.	38.961 €	38.003 €	958 €	2%
FALTA DE MAT./CONTORNOS MECANIZ. INCORR	26.505 €	25.133 €	1.372 €	5%



ALABEO, DEFORMACION O FLECHA.	11.807 €	9.465 €	2.342 €	20%
REFUERZ. MAT. MAL SITUADOS IN CORR. ORIE	9.226 €	7.574 €	1.653 €	18%

Como resultado positivo es destacable que en todos los defectos se ha conseguido ahorrar alguna cantidad de dinero. Además también conviene resaltar que los defectos con los menores ahorros son los que tienen los costes más bajos en términos absolutos, y por tanto más difíciles de reducir.

De forma global el resultado del primer año de trabajo se resume en los siguientes datos:

Tabla 8 Costes de no calidad Enero y Febrero 2010 y 2011

	Enero y Febrero 2010	Enero y Febrero 2011
Costes de no calidad	577.234 €	346.571 €

Que en términos de ahorro resulta:

Tabla 9 Ahorro total del primer año

Ahorro total	230.663 €	40%
--------------	-----------	-----

Aún sin ser un objetivo directo del proyecto, también se ha conseguido reducir en gran medida el número de devoluciones a la planta por piezas de mala calidad por parte del cliente. En este caso el cliente son las siguientes plantas en la fase de fabricación que utilizan piezas de la planta de Getafe.



Finalmente se ha conseguido duplicar las previsiones de ahorro iniciales del 20 % para el primer periodo marcado en el proyecto, obteniendo unos resultados satisfactorios del mismo.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

### *Libros*

**Amat Oriol** Costes de calidad y de no calidad [Libro]. - 2005 : Gestión 2000.

**Ballenato Prieto Guillermo** Trabajo en equipo. Dinámica y participación de los grupos [Libro]. - [s.l.] : Ediciones Pirámide, 2005.

**Collins P.** "Implementing a cost of Quality strategy: Beware of demotivating your employees" Management services, Vol. 39 nº 3 mayo [Libro]. - 1995.

**Dawes E.W.** "Quality costs: new concepts and methods". [Libro]. - Milwaukee. : ASQC Annual Quality Congress Transactions., 1987.

**Harrington H. James** El coste de la mala calidad [Libro]. - [s.l.] : Ediciones Díaz de Santos, 1990.

**James P. Womack Daniel T. Jones** Lean Thinking : Como Utilizar el pensamiento LEAN para evitar los despilfarros y crear valor en las empresas [Libro]. - 2005.

**Jurán Joseph M.** Manual de calidad de Juran [Libro]. - [s.l.] : S.A. McGraw-Hill / Interamericana de España, 2001.



**Jurán Joseph M.** Quality Planning and Analysis [Libro]. - [s.l.] : McGraw-Hill, 1970.

### *Páginas web*

[partidadoble.wke.es](http://partidadoble.wke.es) [En línea].

[www.airbus.com](http://www.airbus.com) [En línea]. - 2011.

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) [En línea].

